

SISTEMA ETICS- INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

UM CASO DE ESTUDO

Juliana Vicente Belchior Mendão

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente: Professor Doutor Rodrigo de Moura Gonçalves

Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei

Arguente: Professora Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues

Maio de 2011

SISTEMA ETICS- INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

UM CASO DE ESTUDO

“Copyright” de **Juliana Vicente Belchior Mendão**, FCT/UNL

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”.

Aos meus Pais

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Daniel Aelenei, cuja vasta experiência e conhecimento do domínio da térmica de edifícios foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho. A partilha de conhecimentos e as valiosas contribuições que me proporcionou, não só ao longo deste trabalho mas também nas disciplinas que leccionou, foram fundamentais.

Em segundo lugar queria deixar um agradecimento especial ao Arquitecto Rui Vera- Cruz, ao Professor Fernando Henriques, ao Arquitecto Miguel Amado e à Professora Paulina Faria pela forma determinante como contribuíram para a minha formação.

Agradeço também ao Fernando Jorne, meu companheiro de tantas jornadas académicas, todo apoio e disponibilidade ao longo do curso e na elaboração do presente trabalho.

Como uma dissertação de mestrado é o culminar do trabalho desenvolvido ao longo de vários anos de estudo, gostaria de agradecer a todos os meus amigos, em especial à Patty, à Giada, à Joana Antunes e à Lara, cuja amizade, apoio e motivação foram extremamente importantes para mim.

Não podia deixar de agradecer ao meu namorado, David, por todo o apoio, motivação e paciência nesta fase controversa da minha vida.

Um agradecimento muito especial aos meus pais, Júlio e Leonor, à minha irmã Nélia e ao meu cunhado Nuno, por todo o apoio, motivação, partilha de conhecimentos e experiência essenciais no desenvolvimento da minha formação pessoal e académica.

RESUMO

As emissões produzidas pelos combustíveis fósseis usados para satisfazer as crescentes necessidades energéticas a nível global estão a causar alterações climáticas perigosas no planeta, pelo que se torna imperativo uma mudança no modelo de desenvolvimento. A construção de edifícios é um dos sectores da economia com um grande impacto negativo sobre o ambiente, no entanto, em termos de consumo de energia, o impacto da sua exploração ou utilização ao longo dos anos é ainda maior. Por meio da escolha adequada de equipamentos e soluções construtivas nos edifícios torna-se possível alcançar significativas poupanças de energia e manter o conforto com vantagens do ponto de vista ambiental e económico. A utilização de isolantes térmicos em toda a sua envolvente, permite poupar energia todo o ano e reduzir a necessidade de investir em meios de climatização, quer em edifícios novos, quer em edifícios a reabilitar.

O presente trabalho surge com o objectivo de estudar as necessidades energéticas de um edifício, tendo em conta diferentes espessuras de isolante térmico do sistema ETICS¹. Deste modo, tendo por base o RCCTE e com recurso ao programa *Energy Plus* foram realizadas várias simulações de forma a comparar as necessidades energéticas num edifício unifamiliar situado na cidade de Lisboa e Bragança.

Os resultados obtidos demonstram que o aumento da espessura de isolante térmico induz diferenças pouco significativas ao nível das necessidades energéticas.

Palavras-chave: ETICS; *Energy Plus*; Necessidades Energéticas; Simulação; Comportamento térmico.

¹ External Thermal Insulation Composite Systems

ABSTRACT

The emissions made by fossil fuels used in order to satisfy the growing energetic needs worldwide are causing dangerous climate changes on the planet, therefore, it is imperative that change happens in the development model. The construction of buildings is one of the sectors in the Economy having a large negative impact on the environment, however, in terms of energy consumption, the consequences of its exploitation and use over the years are even bigger. By choosing the appropriate equipments and constructive solutions in buildings it is possible to achieve considerable energy savings and maintain the comfort with economical and environmental advantages. The use of thermal insulation on its surroundings, allows to save energy during the whole year and to reduce the need to invest on cooling means, both in new buildings or in buildings to rehabilitate.

This work appears in order to study the energy requirements of a building, taking into account different thicknesses of External Thermal Insulation Composite System. Thus based on the Regulation of the characteristics of thermal performance of buildings and using the *Energy Plus* program were carried out several simulations in order to compare the energy requirements in a single-family building located in Lisbon and Bragança.

The results show that increasing the thickness of thermal insulator induces minor differences in terms of energy requirements.

Keywords: ETICS; *Energy Plus*; Energy Requirements; Simulation; Thermal Behavior.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	7
Resumo	i
Abstract	iii
Simbologia	xiii
Capítulo 1- Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do Tema.....	1
1.2 Motivações	2
1.3 Objectivos.....	3
1.4 Metodologia	3
1.5 Estrutura do Trabalho	4
Capítulo 2- Caracterização do Comportamento Térmico dos Edifícios	5
2.1 Introdução	5
2.2 Balanço energético dos edifícios	5
2.2.1 Condução de calor através da envolvente opaca do edifício.....	6
2.2.2 Renovação de ar	10
2.2.3 Ganhos solares.....	11
2.2.4 Ganhos internos.....	12
Capítulo 3- Caracterização das Soluções Construtivas da Envolvente Exterior	13
3.1 Introdução	13
3.2 Exigências funcionais das paredes exteriores	13
3.3 Soluções construtivas das paredes exteriores	14
3.3.1 Parede dupla.....	15
3.3.2 ETICS	17
3.3.2.1 Evolução histórica.....	17
3.3.2.2 Vantagens do sistema de isolamento térmico pelo exterior	18

3.3.2.3	Desvantagens do sistema de isolamento térmico pelo exterior.....	20
3.3.2.4	Descrição do sistema ETICS	21
3.3.2.5	Materiais/elementos constituintes	21
3.3.2.6	Aplicação do sistema ETICS	23
3.3.2.7	Patologias.....	27
3.3.3	Comportamento térmico.....	29
Capítulo 4- Análise do Comportamento Térmico dos Edifícios.....		31
4.1	Introdução	31
4.2	O RCCTE	31
4.2.1.	Metodologia de Cálculo.....	32
4.3	O <i>Energy Plus</i>	39
4.4	Análise Estática versus Análise Dinâmica.....	43
4.5	Comandos de Entrada de Valores do <i>Energy Plus</i>	44
Capítulo 5- O Caso de Estudo. Metodologia do Trabalho		55
5.1	Introdução	55
5.2	Apresentação do Caso de Estudo.....	55
5.3	Metodologia utilizada para comparação dos modelos.....	60
5.3.1.	Pressupostos para elaboração do modelo de Inverno	61
5.3.2.	Pressupostos para Elaboração do Modelo de Verão	62
5.3.3.	Variáveis solicitadas ao programa <i>Energy Plus</i>	62
5.4	Análise dos resultados obtidos - Análise estática face à análise dinâmica.....	63
Capítulo 6- Análise de Resultados		67
6.1	Introdução	67
6.2	Lisboa.....	67
6.2.1.	Parede dupla versus diferentes espessuras de EPS do sistema ETICS.....	67
6.2.2.	Variação da temperatura interior	70

6.2.3. Análise de sensibilidade	74
6.2.4. Necessidades de aquecimento obtidas com taxa de renovação de ar conforme NP1037	76
6.3 Bragança	76
6.3.1 Parede dupla versus diferentes espessuras de ETICS.....	77
6.3.2 Variação da temperatura interior.....	79
6.3.3 Análise de sensibilidade.....	83
6.3.4 Necessidades de aquecimento obtidas com taxa de renovação de ar conforme NP1037	85
Capítulo 7- Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	87
Referências Bibliográficas e Electrónicas	91
ANEXO I.....	95
ANEXO II.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Balanço Térmico de um edifício	6
Figura 2: Parede Dupla	16
Figura 3: Evolução da aplicação do sistema ETICS em Portugal (Fonte: APFAC)	18
Figura 4: Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas [18]	19
Figura 5: Comparação do gradiente de temperaturas a que estão sujeitas uma parede dupla com sistema tradicional de isolamento térmico aplicado na caixa-de-ar e uma parede simples com isolamento térmico aplicado pelo exterior [18]	20
Figura 6: Constituição do sistema ETICS [12]	21
Figura 7: Perfil de arranque onde apoia primeira fiada de placas [13].....	24
Figura 8: Exemplos de colagem das placas de isolante térmico	25
Figura 9: Fixação Mecânica [13]	25
Figura 10: Cantoneira [13]	25
Figura 11: Embebimento da armadura do revestimento na camada de base.....	26
Figura 12: Aplicação da camada de acabamento final	26
Figura 13: Particularidades da aplicação do sistema ETICS.....	27
Figura 14: Distribuição das patologias associadas aos ETICS [18]	28
Figura 15: Diagrama de funcionamento do <i>Energy Plus</i> [3].....	40
Figura 16: Diagrama de dados de entrada e saída do <i>Energy Plus</i>	41
Figura 17: Arquivo de entrada do <i>Energy Plus</i>	42
Figura 18: Arquivo de entrada do campo <i>Simulation Parameters</i>	46
Figura 19: Definição do período de simulação	47
Figura 20: Definição das soluções construtivas no comando <i>Construction</i>	49
Figura 21: Definição da geometria dos elementos no comando <i>BuildingSurface:Detailed</i>	50
Figura 22: Definição da taxa de renovação horária no <i>Energy Plus</i>	52
Figura 23: Solicitação das variáveis no <i>Energy Plus</i>	54
Figura 24: Planta da moradia em estudo	56
Figura 25: Alçado Sul	56

Figura 26: Alçado Norte.....	56
Figura 27: Alçado Oeste.....	57
Figura 28: Alçado Este	57
Figura 29: Pormenor construtivo do sistema ETICS em zona corrente.....	58
Figura 30: Pormenor construtivo da cobertura.....	58
Figura 31: Pormenor construtivo do pavimento térreo.....	59
Figura 32: Resultados obtidos através do <i>Energy Plus</i> e do RCCTE para a cidade de Lisboa com ETICS 3cm de EPS.....	64
Figura 33: Resultados obtidos através do <i>Energy Plus</i> e do RCCTE, para a cidade de Lisboa, com ETICS 3cm de EPS.....	66
Figura 34: Necessidades de Aquecimento para a cidade de Lisboa.....	68
Figura 35: Necessidades de Arrefecimento referentes à cidade de Lisboa	69
Figura 36: Temperatura Interior para um dia extremo de Inverno, na cidade de Lisboa	72
Figura 37: Variação da Temperatura Interior para um dia típico de Verão, na cidade de Lisboa.....	74
Figura 38: Resultados obtidos para a estação de aquecimento (Lisboa), com diminuição da taxa de renovação de ar	76
Figura 39: Necessidades de aquecimento para a cidade de Bragança	77
Figura 40: Necessidades de arrefecimento para a cidade de Bragança	78
Figura 41: Variação da temperatura interior num dia extremo de Inverno, na cidade de Bragança	81
Figura 42: Variação da temperatura interior, sem climatização, num dia típico de Verão, em Bragança	83
Figura 43: Resultados obtidos com diminuição da taxa de renovação de ar, para Bragança	85
Figura 44: Necessidades nominais anuais para Bragança e Lisboa.....	87

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Materiais/elementos constituintes do sistema ETICS e principais características (Parte I)	22
Quadro 2: Materiais/elementos constituintes do sistema ETICS e principais características (Parte II)	23
Quadro 3: Anomalias mais frequentes e possíveis causas [20]	28
Quadro 4: Coeficiente de transmissão térmica para o sistema ETICS	29
Quadro 5: Coeficiente de transmissão térmica para parede dupla com isolante térmico XPS	29
Quadro 6: Coeficiente de transmissão térmica para parede dupla com isolante térmico EPS	29
Quadro 7: Classes de inércia térmica interior (Quadro VII.6 do RCCTE)	37
Quadro 8: Dependências da casa e respectivas áreas úteis.....	57
Quadro 9: Valores de Necessidades de Aquecimento para a cidade de Lisboa	68
Quadro 10: Valores de Necessidades de Arrefecimento para a cidade de Lisboa	70
Quadro 11: Variação da Temperatura Interior para um dia extremo de Inverno (Lisboa)	71
Quadro 12: Variação da temperatura interior para o dia 23 de Agosto (Lisboa)	73
Quadro 13: Gráficos referentes à percentagem de perdas no sistema ETICS	75
Quadro 14: Valores de Necessidades de Aquecimento para a cidade de Bragança.....	78
Quadro 15: Valores de Necessidades de Arrefecimento para a cidade de Bragança....	79
Quadro 16: Variação da temperatura interior ao longo do dia 19 de Janeiro (Bragança)	80
Quadro 17: Variação da Temperatura interior para o dia 8 de Junho (Bragança).....	82
Quadro 18: Percentagem de perdas em função da espessura de isolante	84
Quadro 19: Necessidades nominais (EP) das várias soluções construtivas em Bragança e Lisboa	88

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

EPS – Expandable Polystyrene (poliestireno expandido moldado)

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

IDF – Input Date File

CAD – Computer-Aided Design

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

SIMBOLOGIA

N_{IC}- Necessidades anuais de aquecimento do edifício (kWh/m².ano)

N_{VC}- Necessidades anuais de arrefecimento do edifício (kWh/m².ano)

GD – Graus-dias de aquecimento (°C.dia)

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Tema

O consumo energético apresenta-se actualmente como um dos maiores problemas a nível mundial devido ao facto de implicar um acelerado esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, que constituem a base do modo de desenvolvimento actual e a sua queima provoca um grande impacto ambiental. O sector dos edifícios é responsável por uma parte significativa do consumo energético mundial. Segundo a ADENE², em 2005, os edifícios em Portugal representaram cerca de 30% do consumo total de energia primária do país e 62% dos consumos de electricidade [15]. Ainda segundo a mesma fonte, o sector residencial contribuiu com 17% dos consumos de energia primária. Perante estes dados, pode facilmente afirmar-se que os edifícios representam um grande potencial de poupança energética e neste sentido, nos últimos anos têm sido tomadas várias medidas que passam pela imposição de restrições e a criação de regulamentos por forma a maximizar a eficiência energética com o objectivo de obter garantias de sustentabilidade a nível económico e ambiental [9].

Em Portugal existe desde o século XX o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE). Para comprovar a correcta aplicação destes regulamentos e dando cumprimento à Directiva Comunitária 2002/91/CE [27] que impõe a obrigatoriedade de implementação de um sistema de certificação energética foi implementado pelo Estado Português o Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior em Edifícios (SCE). No âmbito deste sistema, surge a obrigatoriedade da emissão de um Certificado Energético dos edifícios, que atribui uma classificação numa escala hierárquica de acordo com o respectivo desempenho em termos de consumo energético, à semelhança do que já acontece com os electrodomésticos.

² Agência para a Energia

A classificação energética dos edifícios face ao RCCTE é calculada pelo quociente entre as necessidades anuais estimadas de energia primária, para climatização e águas quentes sanitárias e o valor limite estabelecido para cada região e varia entre A⁺ e G. Um edifício que apresente uma classe energética A⁺ tem menos de ¼ das necessidades energéticas de um edifício de referência (B⁻) [9].

Com o objectivo de dar cumprimento aos actuais regulamentos houve um aumento significativo dos padrões de qualidade da construção, levando a uma mudança nas práticas construtivas e ao aparecimento de novas soluções e processos construtivos que permitam então uma maior poupança de energia, a par de um menor impacto ambiental.

A envolvente geométrica e construtiva dos edifícios acarreta um papel fundamental ao nível do comportamento térmico dos mesmos, existindo uma relação directa entre o consumo energético para climatização e o isolamento térmico da envolvente. Deste modo, para responder às crescentes exigências de conforto térmico é necessário isolar termicamente a envolvente dos edifícios, propiciando menores trocas de calor com o exterior, reduzindo as necessidades de climatização e o risco de ocorrência de condensações. De salientar que a envolvente dos edifícios constitui a fronteira entre estes e o exterior e não é uniforme em termos de características térmicas. No que diz respeito às taxas de transferência de calor, a quantificação e a forma de realização do isolamento térmico não se deve centrar apenas na zona corrente mas sim, ter também em atenção zonas particulares que se designam por pontes térmicas, onde se prevê uma maior taxa de transferência de calor, associada a maiores gastos energéticos e com consequente impacto no conforto, salubridade e ocorrência de anomalias.

1.2 Motivações

No contexto actual, em que face à regulamentação térmica em vigor há cada vez uma maior tendência de mudança nas práticas construtivas, nomeadamente ao nível das fachadas dos edifícios, é importante conhecer o impacto de determinada solução nas trocas térmicas globais do edifício e a forma como este é isolado, tendo em conta a zona climática de Inverno onde se insere. De acordo com estes aspectos

são apresentados em seguida os objectivos que se pretendem atingir com a elaboração do presente trabalho.

1.3 Objectivos

O estudo realizado na presente dissertação incide sobre um sistema construtivo utilizado nas fachadas dos edifícios: ETICS³ (Reboco delgado aplicado sobre o isolante térmico). O estudo será conduzido no sentido de conhecer o impacto que as diferentes espessuras de isolante térmico que compõe o sistema causam no comportamento térmico do edifício, ao nível das necessidades energéticas, tendo em conta duas zonas climáticas de Inverno, em Portugal.

1.4 Metodologia

Por forma a alcançar os objectivos estabelecidos na elaboração deste trabalho recorrer-se-á a um caso de estudo, um edifício unifamiliar, sobre o qual irão incidir os estudos propostos. A opção de estudar um edifício unifamiliar prende-se com o facto de usualmente os trabalhos referentes a simulações serem realizados com recurso a cubos ou células de teste, de já terem sido realizados diversos trabalhos com base em edifícios multifamiliares, com as particularidades apresentadas por uma moradia e pelo facto de uma casa independente apresentar maiores exigências em termos energéticos do que um edifício multifamiliar.

Para compreender o impacte das soluções construtivas que constituem as fachadas do edifício no seu comportamento térmico, serão utilizadas duas metodologias distintas, tanto para a contabilização das perdas e ganhos térmicos através da envolvente como das necessidades de climatização apresentadas pelo mesmo. Um dos métodos utilizados baseia-se num software de análise dinâmica do comportamento térmico (*Energy Plus*), sendo que o outro apela ao indicado no método simplificado da regulamentação térmica nacional (RCCTE).

² External Thermal Insulation Composite Systems

1.5 Estrutura do Trabalho

A dissertação é iniciada, no primeiro capítulo, com o enquadramento geral do trabalho, onde de uma forma breve é apresentado o paradigma energético e o papel que o sector da construção nele desempenha - em particular os edifícios - as motivações inerentes à elaboração do trabalho e os objectivos que se pretendem alcançar.

O segundo capítulo contempla uma breve revisão dos conceitos sobre o balanço energético dos edifícios: condução de calor através da envolvente, renovação de ar, ganhos solares e internos.

No terceiro capítulo é feita a caracterização do sistema ETICS: evolução histórica, materiais que compõem o sistema e principais anomalias. A solução parede dupla será também caracterizada mas de uma forma mais breve.

No quarto capítulo são descritas as duas metodologias utilizadas: método de cálculo, pressupostos e vantagens/desvantagens.

O capítulo cinco contempla a apresentação do caso de estudo e a forma como se obteve o modelo de simulação.

No sexto capítulo apresentam-se os resultados obtidos, sendo as respectivas conclusões apresentadas no capítulo sete.

CAPÍTULO 2- CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

2.1 Introdução

Antes de qualquer abordagem aos aspectos que se pretende analisar é importante abordar os principais conceitos que caracterizam o comportamento térmico dos edifícios, através de uma descrição correcta mas não exaustiva.

As condições de conforto proporcionadas por uma habitação dependem de diversos factores que incluem as características de construção e os sistemas de aquecimento e arrefecimento utilizados, sendo fundamental definir linhas de acção que conduzam a uma melhoria significativa do ambiente interior da habitação com menores custos energéticos. De um modo geral, a caracterização do comportamento térmico dos edifícios é dada pelo respectivo balanço energético, essencial para a percepção do impacte que a utilização dos espaços tem nas suas necessidades nominais de energia, sendo obviamente influenciado pelo desempenho térmico das soluções que constituem a envolvente.

2.2 Balanço energético dos edifícios

O balanço energético dos edifícios consiste na equação de equilíbrio entre ganhos e perdas térmicas que ocorrem através da envolvente dos mesmos, sendo importante para prever as necessidades de energia de climatização. À luz do RCCTE, este balanço é realizado em regime de temperatura do ar interior constante (regime permanente) e permite obter as necessidades de aquecimento e arrefecimento dos espaços de modo a satisfazer as exigências de conforto térmico dos seus ocupantes [4].

Para obtenção da equação do balanço energético de um edifício, consideram-se os ganhos e perdas térmicas por condução e infiltração através da envolvente opaca (fachadas, cobertura e pavimento térreo), ganhos e perdas pelos vãos envidraçados e os ganhos internos, como mostra a Figura 1.

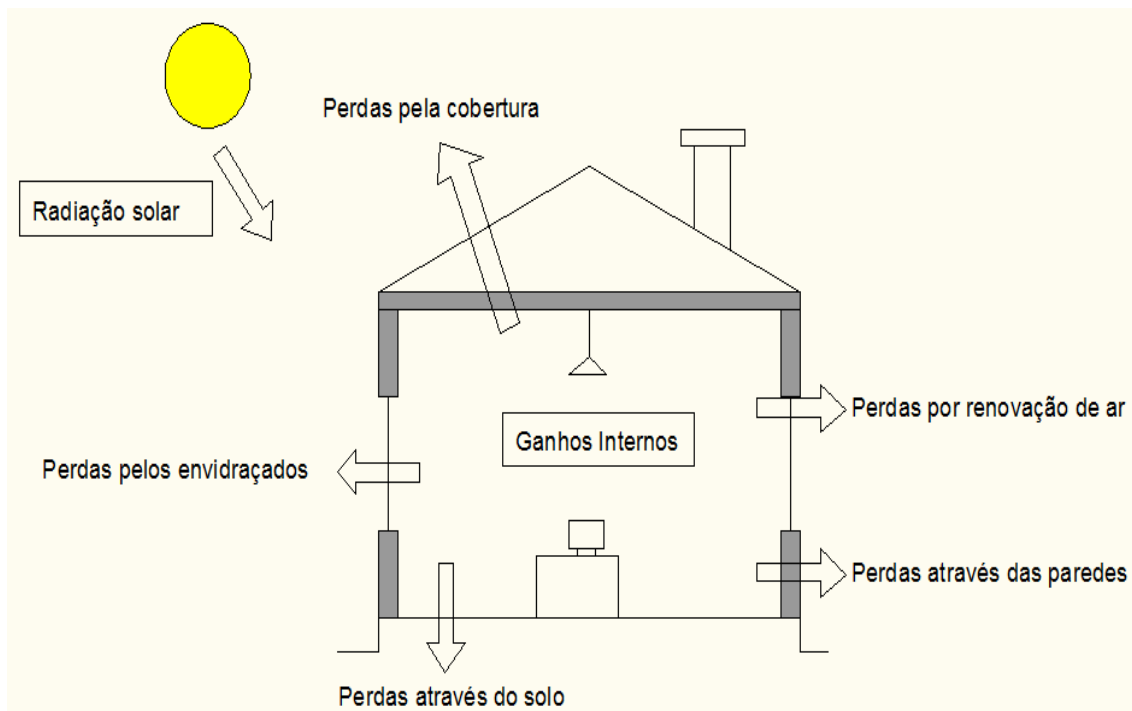


Figura 1: Balanço Térmico de um edifício

2.2.1 Condução de calor através da envolvente opaca do edifício

Condução corresponde a um fenómeno de transmissão de calor entre duas zonas com temperaturas diferentes, podendo ocorrer em corpos sólidos ou fluidos. Nos edifícios, as fachadas, a cobertura e o pavimento térreo constituem a fronteira destes com o exterior e o tipo de materiais que as compõem influenciam as condições de conforto no seu interior, na medida em que é através destes que se verificam as trocas de calor com o ambiente que os rodeia.

Dado o clima temperado que se verifica em Portugal, restringir a condução através da envolvente exterior constitui uma estratégia a promover nos edifícios para obter conforto no seu interior, tanto de Inverno como de Verão [10]. Enquanto no Inverno o objectivo é restringir as perdas de calor para o exterior através da envolvente, no Verão interessa restringir os ganhos excessivos de calor exterior de modo a manter uma temperatura mais constante no interior dos edifícios. Pese embora não seja possível evitar estas trocas de calor, o fenómeno de condução pode ser minimizado com recurso a boas práticas e soluções construtivas, nomeadamente com a aplicação de

isolante térmico e com o correcto aproveitamento da inércia térmica dos materiais utilizados [26].

O isolamento térmico é fundamental para garantir o conforto térmico dos edifícios durante todo o ano, tornando-o mais eficiente energeticamente. A sua aplicação prende-se com o facto de tentar manter o ar interior a uma temperatura confortável, dificultando a passagem de calor por condução do interior ao exterior do edifício e vice-versa. Pode afirmar-se que a quantidade de calor necessária para manter a habitação à temperatura de conforto depende em larga escala do nível de isolamento térmico. No Verão, um espaço interior sem isolamento torna-se excessivamente aquecido, em virtude das paredes e coberturas serem sobreaquecidas pela radiação solar. Deste modo, edifícios com baixos níveis de isolamento térmico conduzem a perdas de calor significativas, que consequentemente conduzem a maiores consumos energéticos com o aquecimento e o arrefecimento, sendo que, de Inverno, os espaços arrefecem rapidamente podendo dar origem a condensações no seu interior, prejudiciais para a saúde e bem-estar dos ocupantes, e de Verão o interior aquece mais num curto espaço de tempo. Por esta razão o isolamento térmico é um factor chave no que respeita à redução do consumo energético, pois a sua aplicação permite diminuir as perdas de calor e aproveitar os ganhos [10].

Para que o isolamento térmico seja eficaz, é necessário isolar toda a envolvente do edifício de modo a eliminar as chamadas pontes térmicas, que constituem zonas de maior perda de calor, em relação às restantes áreas. As pontes térmicas resultam sempre de uma heterogeneidade, quer seja geométrica, quer seja estrutural, sendo os casos mais comuns: a transição entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas; alterações na espessura de um elemento; diferenças entre áreas internas e externas, como é o caso dos encontros entre paredes (cunhais), entre paredes e pavimentos e entre paredes e tectos [24]. Devido às maiores taxas de perdas de calor induzidas pelas pontes térmicas, torna-se portanto impreterível a sua correcção, de forma a reduzir os gastos energéticos e o aparecimento de patologias construtivas com consequência nos níveis de conforto associados à

ocorrência de fenómenos de condensação motivados pela diminuição da temperatura dos paramentos nessas zonas [24].

Em Portugal, os isolantes térmicos mais correntes são: o Poliestireno Expandido Moldado (EPS), o Poliestireno Expandido Extrudido (XPS), a Espuma de Poliuretano (PUR), o Aglomerado Negro de Cortiça (ICB) e a Lã Mineral (MW). Consoante os casos, podem ser utilizados em placas, sob a forma de espuma, placas ou mantas. Quanto ao posicionamento, o isolante térmico poderá ser colocado pelo exterior, pelo interior ou na caixa-de-ar, em paredes, pavimentos e coberturas.

Como já foi referido, a par do isolante térmico, a inércia térmica é um parâmetro fundamental que condiciona o comportamento térmico do edifício, do qual se pode tirar partido de forma a racionalizar o consumo de energia para conforto térmico. A inércia térmica consiste na capacidade de um elemento armazenar calor e só libertá-lo ao fim de um determinado tempo. É uma característica própria dos materiais pesados e densos (pedras, tijolos maciços e betão) tendo a ver com a massa dos elementos de construção, o calor específico e a sua condutibilidade térmica. Veja-se o exemplo de construções mais antigas, feitas em alvenaria de pedra e argamassas pobres que, no Verão, conseguem manter um ambiente agradavelmente fresco devido à grande espessura das paredes da envolvente que impõem uma massa elevada nas superfícies de fronteira do edifício [25]. Nestes casos, a temperatura varia em torno de um valor médio elevado com pouca amplitude (temperatura mantém-se praticamente constante ao longo do período de oscilação da temperatura exterior). Já nos edifícios com pouca massa na envolvente, a temperatura interior quase acompanha instantaneamente as amplitudes da temperatura exterior. Pode então concluir-se que, quanto mais “pesado” for o edifício, mais amortecida e desfasada é a onda de calor que lhe é transmitida pelo ambiente exterior [25].

Face ao RCCTE estão definidas três classes de inércia térmica: fraca, média e forte e resultam do cálculo da massa superficial útil (M_i) por metro quadrado de área útil de pavimento. Um correcto aproveitamento da inércia térmica é fundamental para a minimização das necessidades de aquecimento e

arrefecimento, noção que deverá estar presente aquando da escolha dos materiais e do posicionamento do isolante térmico, uma vez que apenas a massa interna ao isolante contribui favoravelmente para a inércia do edifício. Um edifício que seja isolado termicamente pelo interior contem quase toda a massa interna da envolvente “do lado de fora” da barreira térmica (isolante) logo, a penetração do calor no edifício ocorre praticamente no mesmo instante que a elevação da temperatura do ar exterior, associando-lhe também uma grande amplitude térmica. Como não há acumulação de calor em elementos interiores durante o dia, no período nocturno não há energia acumulada que se possa libertar para aquecimento do ambiente interior. Neste caso diz-se que o edifício apresenta uma inércia térmica fraca. Edifícios cujo isolamento térmico seja feito pelo exterior, normalmente apresentam inércia térmica forte, uma vez que a massa interna da envolvente fica exposta ao fluxo de calor (as elevadas temperaturas do exterior e a radiação solar implicam uma transmissão de calor para o edifício, sendo que parte deste calor atinge a envolvente interior, as paredes, cobertura e elementos estruturais) e, por ser elevada, tem uma grande capacidade de armazenamento de energia térmica e consequentemente a temperatura do ar interior sobe lentamente [25]. No período nocturno, as trocas de calor ocorrem no sentido inverso (interior para o exterior), a massa interna dos elementos da envolvente vai libertando o calor armazenado durante o dia possibilitando que a temperatura do ar interior não acompanhe o abaixamento da temperatura exterior e se mantenha num nível relativamente próximo ao do período diurno [25].

Em suma, a inércia térmica dos elementos que compõem a envolvente dos edifícios possibilita que funcionem como acumuladores térmicos que absorvem o calor durante o dia e o libertam à noite.

A par do que foi referido, as superfícies vidradas inseridas na envolvente também desempenham um papel muito importante no domínio da eficiência térmica dos edifícios. Se, por um lado, podem contribuir para a entrada de calor sem custos, por outro podem ser saídas através das quais o calor se dissipa, quando não são construídas e montadas de forma apropriada. A área de

envidraçado, a orientação, o tipo de vidro e caixilharia são portanto características que deverão ser tidas em conta.

2.2.2 Renovação de ar

Tendo em conta a eficiência energética de um edifício, dispor de uma troca de ar nas condições consideradas ideais também é muito importante, uma vez que a mistura e renovação de ar nos espaços com uma ventilação adequada, quer seja natural ou mecânica, permite uma redução da humidade e da contaminação, contribuindo então para a obtenção de maior conforto.

O processo de ventilação está associado a um grande volume de trocas de calor com o exterior, contribuindo, sempre que se verifique diferença entre a temperatura interior e exterior, de forma considerável para o balanço térmico do edifício. No Inverno, como a temperatura exterior é maioritariamente abaixo da temperatura de conforto, a renovação de ar constitui uma perda de calor significativa, pelo que se torna importante limitar nesta estação do ano a ventilação. No entanto, para o período de Verão verifica-se uma situação oposta, em que a ventilação toma um papel importante no arrefecimento nocturno dos edifícios.

Nas habitações, produzem-se grandes quantidades de vapor de água, particularmente nas cozinhas e instalações sanitárias. Se uma casa for insuficientemente ventilada, o excesso de vapor de água produzido não poderá ser removido e tende a condensar nas superfícies frias, dando origem a fungos e bolores, prejudiciais para a saúde e conforto dos ocupantes. Neste sentido, a ventilação refere-se à qualidade do ar interior, no entanto, do ponto de vista térmico, como já foi referido, acarreta ganhos e perdas de calor que podem ter consequências directas nas condições de conforto, sendo nesta perspectiva um processo a controlar [10]. Daí que os valores recomendados para as taxas de renovação de ar em edifícios decorram de uma solução de compromisso entre as exigências de higiene do ar e as exigências de conforto térmico, isto é, não constituem valores óptimos para essas exigências, quando considerados individualmente.

Em edifícios de carácter residencial, como é o caso da moradia em estudo, a ventilação é realizada através da admissão de ar pelas janelas, portas e por dispositivos de admissão de ar nas fachadas, sendo a sua extracção feita com recurso a condutas localizadas nas zonas de serviço (cozinha e instalações sanitárias).

2.2.3 Ganhos solares

A captação eficaz de energia solar é um facto determinante para manter o equilíbrio das necessidades energéticas dos edifícios, especialmente num país como Portugal onde, apesar de o clima ser moderado, denota-se uma demarcação significativa da estação de arrefecimento (Verão) para a estação de aquecimento (Inverno) [10].

Nos períodos onde existe maior necessidade de energia, interessa captar a radiação solar, ao passo que nos períodos em que importa dissipar energia é conveniente ter a menor superfície possível exposta à luz do sol, determinando desta forma o grau de conforto oferecido aos ocupantes e os consequentes gastos de energia. Sendo estas condições opostas, verifica-se em muitos casos o facto de edifícios serem muito eficientes no Inverno e pouco eficientes no Verão, ou vice-versa.

No nosso país, os ganhos solares possuem grande relevância na satisfação das necessidades de aquecimento, no entanto, face à elevada exposição solar a que o território nacional está sujeito, tornam-se condicionantes na estação de arrefecimento [10]. Deste modo e em suma do que já foi referido, é importante promover os ganhos solares no Inverno (através da introdução de vãos envidraçados no quadrante Sul) e minimizá-los no Verão, através de sombreamentos adequados, principalmente quando orientados a Nascente ou a Poente.

A par da orientação e dos sistemas de sombreamento, a área de envidraçados, o factor solar dos vãos envidraçados, bem como a intensidade da radiação solar, são factores que determinam um correcto aproveitamento dos ganhos solares.

2.2.4 Ganhos internos

As pessoas, através da libertação de calor em resultado da sua actividade metabólica, os sistemas de iluminação eléctrica que se instalam nos edifícios, libertando calor na transformação de energia eléctrica em luz visível e todos os outros equipamentos que neles funcionam (televisões, computadores, impressoras, etc.) e que dissipam calor em resultado do seu funcionamento, constituem as principais fontes de ganhos internos de calor num edifício [4]. Facilmente se depreende que os ganhos internos são variáveis, função do número de ocupantes do edifício e do seu estilo de vida, uma vez que se reflecte no consumo energético. Deste modo, os ganhos internos são difíceis de quantificar, recorrendo-se usualmente a valores estatísticos.

Na estação de aquecimento os ganhos térmicos são favoráveis na perspectiva de economia de energia, sendo muitas vezes desprezados no processo de cálculo das necessidades energéticas. Para a estação de arrefecimento a situação é inversa, os ganhos internos são desfavoráveis, devendo ser tidos em conta no cálculo das necessidades energéticas.

Quando os ganhos solares e internos não são suficientes para assegurar a temperatura interior de conforto no Inverno, ou quando se tornam excessivos no Verão, é inevitável o uso de sistemas de climatização por forma a garantir um aquecimento/arrefecimento adequado.

CAPÍTULO 3- CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DA ENVOLVENTE

EXTERIOR

3.1 Introdução

Neste capítulo do trabalho será feita uma introdução às exigências funcionais das paredes exteriores, bem como uma abordagem às duas soluções construtivas consideradas na análise do caso de estudo, nomeadamente, parede dupla e ETICS, sendo esta última mais detalhada uma vez que é sobre si que incide o presente estudo.

3.2 Exigências funcionais das paredes exteriores

As paredes exteriores dos edifícios representam a fronteira entre os ambientes exterior e interior, pelo que desempenham um papel determinante na construção devendo cumprir variadas exigências funcionais que dependem de agentes mecânicos, térmicos, químicos ou biológicos. Alguns destes agentes actuam mais sobre o revestimento, outros mais sobre o tosco e outros ainda sobre o conjunto todo.

As principais exigências funcionais que devem ser satisfeitas pelas paredes são:

- Resistência mecânica e estabilidade: a parede deverá ser capaz de assegurar um perfeito comportamento durante a construção e o seu período de vida útil. Durante a construção a parede deve ter capacidade para resistir a acções devidas aos equipamentos utilizados e ser estável em situações transitórias de execução. Durante a sua vida útil as paredes deverão ser auto – portantes tanto para cargas verticais como para cargas normais ao seu plano, em particular as forças do vento e possíveis choques;
- Estanquidade à água: as paredes devem ser estanques à água quer ela seja proveniente do exterior quer do interior. Os requisitos de estanquidade são satisfeitos com recurso a barreiras estanques e disposições drenantes;
- Estanquidade ao ar: na estanquidade ao ar e aos gases deve-se ter em atenção a ventilação mínima imprescindível e os limites máximos de forma a evitar desconforto;

- Conforto térmico: o edifício deverá ter no seu interior condições ambientais satisfatórias em termos de temperatura, humidade, velocidade e qualidade do ar. O conforto higrotérmico traduz-se pelo isolante térmico (resistência da parede à passagem de calor), pela secagem dos paramentos interiores (inexistência de condensações superficiais) e pela secagem interna (inexistência de condensações internas);
- Segurança contra riscos de incêndio: as paredes devem ser concebidas de forma a limitar os riscos de incêndio e do seu desenvolvimento;
- Segurança na utilização: traduz-se pela segurança no contacto e pela segurança às intrusões humanas ou de animais;
- Planeza e verticalidade: satisfazendo as exigências gerais de planeza e verticalidade dos paramentos acabados. Estes parâmetros estão também relacionados com o conforto visual, o aspecto das paredes deve caracterizar-se pela rectilinearidade das arestas, planeza das superfícies e homogeneidade de cor e brilho;
- Durabilidade: resistência às agentes climáticos, aos movimentos da fachada e aos agentes biológicos;
- Higiene: traduz-se pela emissão ou desenvolvimento de substâncias nocivas ou insalubres;
- Economia: ao nível da execução e manutenção para que se reduza o consumo de energia nas operações de manutenção do conforto térmico dos ocupantes, com todos os benefícios ambientais daí resultantes.

3.3 Soluções construtivas das paredes exteriores

Neste ponto do trabalho não serão apresentadas todas as soluções construtivas de paredes exteriores mas sim a mais utilizada em Portugal, a parede dupla e, de uma forma mais detalhada, o sistema ETICS, sobre o qual incide o presente estudo.

3.3.1 Parede dupla

A parede dupla é, de uma forma geral, constituída por dois panos de alvenaria de tijolo vazado, fisicamente afastados e convenientemente travados aos elementos de confinamento (estrutura). Contém uma caixa-de-ar e isolante térmico em contacto com o exterior do pano interior e a sua espessura é variável. Actualmente, é a solução de fachada mais utilizada nos edifícios em Portugal. Surgiu como resposta à necessidade de isolar o interior dos edifícios contra a humidade exterior.

Para o bom desempenho, as paredes duplas deverão ter sempre uma lâmina de ar totalmente livre de obstáculos e impurezas. Essa caixa-de-ar deve localizar-se imediatamente a seguir ao pano exterior para permitir que eventuais águas de infiltração vindas do exterior e que atravessem o pano exterior possam escorrer ao longo do paramento interior de pano exterior e ser recolhidas na caleira que deve existir sempre na base da caixa-de-ar. Esta caleira deve ter a configuração de uma meia cana com escoamento para o pano exterior e deverá ser devidamente impermeabilizada. A caleira, que irá recolher todas as águas que atinjam a caixa-de-ar deve possuir saídas para o exterior, nomeadamente pequenos tubos de drenagem em plástico ou aço inox, colocados com ligeira inclinação para o exterior (para facilitar o escoamento da água) e salientes em cerca de 15mm. A parede dupla deverá também ser dotada de orifícios para fraca ventilação no topo da caixa-de-ar, espaçadores que garantam o posicionamento do isolante térmico e a descontinuidade física da caixa-de-ar e varões ou fitas metálicas nas juntas de cada pano de alvenaria (de 3 em 3 fiadas) para contraventamento aos pilares.

Um ponto fundamental na execução das paredes duplas é garantir que a caixa-de-ar fique totalmente desobstruída e a caleira fique totalmente limpa não constituindo depósito de argamassa ou quaisquer outros detritos, sob pena de servirem de meio transmissor de humidade entre o pano exterior e o isolante térmico. Para garantir a estabilidade da alvenaria é necessário promover a ligação dos dois panos de parede através de elementos metálicos ou de plástico, os grampos ou ligadores. Estes grampos ou ligadores devem localizar-se nas juntas,

com uma pequena inclinação para o exterior para evitar escorrências para o pano interior ou dispor de pingadeira, quando instalados na horizontal.

O regulamento da térmica impõe a obrigatoriedade de correcção das pontes térmicas, uma vez que há redução da resistência térmica nesta zona, implicando um abaixamento da temperatura superficial, o que poderá originar o aparecimento de manchas resultantes das condensações do vapor de água. Na parede dupla, a correcção das pontes térmicas poderá ser feita com recurso a uma forra cerâmica e/ou com material isolante. Esta forra pode ser colocada interior ou exteriormente. A Figura 2 representa um pormenor construtivo referente a uma parede dupla correctamente executada e com correcção da ponte térmica.

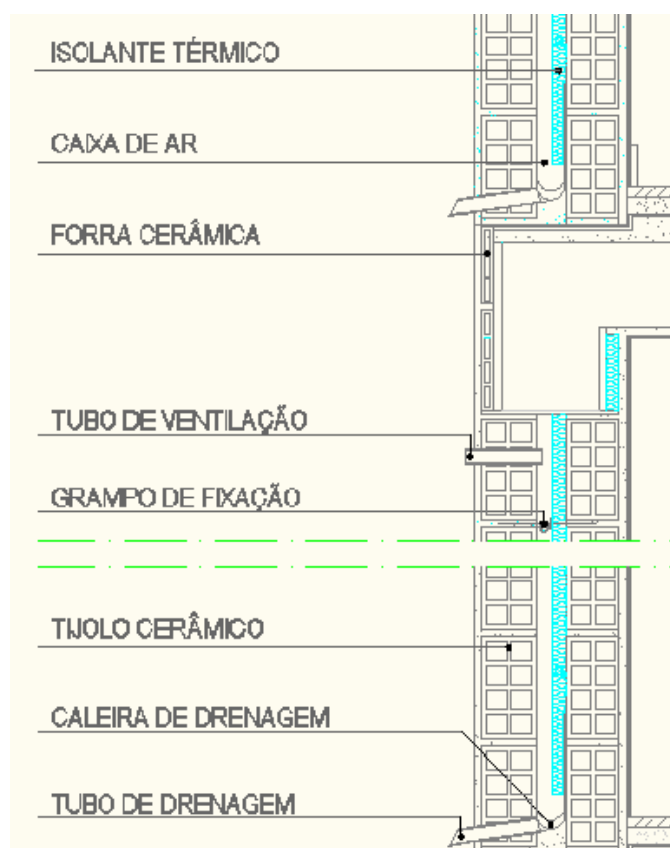


Figura 2: Parede Dupla

Como anomalias mais frequentes nas paredes duplas, podem destacar-se:

- Inexistência de lâmina de ar livre;
- Ausência de caleira de recolha na caixa-de-ar;

- Inexistência de pendente na caleira ou pendente incorrecta;
- Ausência de drenagem para o exterior ou drenagem obstruída;
- Existência de desperdícios de argamassa ou espaçadores com pendente incorrecta, ligando os dois panos;
- Placas de isolante térmico sem fixação, apoiando-se em ambos os panos e constituindo pontes para passagem de água para o interior;
- Inexistência de pingadeiras nas zonas inferiores dos elementos horizontais com projecção para o exterior (varandas, parapeitos, etc).

3.3.2 ETICS

3.3.2.1 Evolução histórica

Nos anos 40, surgiu na Suécia um sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, constituído por lã mineral revestida com um reboco de cimento e cal. De acordo com alguns autores, Edwin Horbach foi o responsável pelo desenvolvimento dos sistemas de reboco delgado armado sobre poliestireno expandido. Edwin Horbach testou diversas composições de reboco, produtos de reforço e materiais de isolamento, tendo posteriormente contactado com um fabricante alemão de poliestireno expandido e foi então que no final dos anos 50 o seu sistema começou a ser utilizado.

A primeira utilização de um sistema de revestimento e isolamento térmico pelo exterior em grande escala foi efectuada na Alemanha, em indústria, nos finais da década de 50 e na década seguinte em uso doméstico. Actualmente na Alemanha, cerca de 60% das construções novas são equipadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior, dada a sua capacidade de possibilitar a poupança de energia e regular o ambiente interno dos edifícios.

Em Portugal, só no final do século XX é que se verificou a introdução, de uma forma definitiva, dos sistemas de reboco delgado armado sobre

poliestireno expandido, quer em construções novas, quer na reabilitação de edifícios. A Figura 3 mostra a evolução da aplicação do sistema ETICS em Portugal, onde se pode observar um aumento significativo da aplicação do sistema, podendo-se justificar pelas imposições regulamentares ao nível da térmica e pelas vantagens que o sistema apresenta, que serão seguidamente descritas.

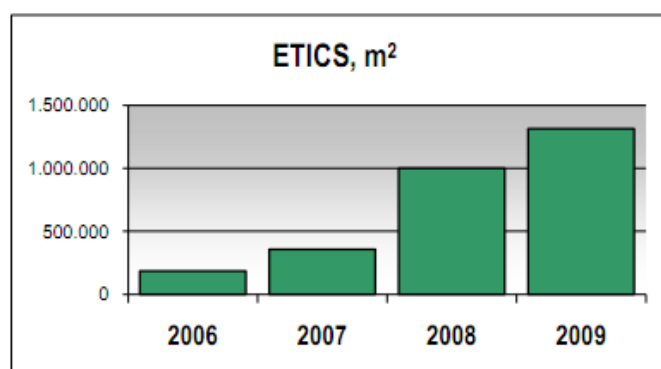


Figura 3: Evolução da aplicação do sistema ETICS em Portugal (Fonte: APFAC)

3.3.2.2 Vantagens do sistema de isolamento térmico pelo exterior

De acordo com alguma bibliografia da especialidade ([12], [14], [18]) apresenta-se de seguida as principais vantagens do sistema ETICS, relativamente aos procedimentos mais tradicionais de isolamento térmico (isolante pelo interior ou inserido na caixa-de-ar), que tornam o sistemas de isolamento térmico pelo exterior uma solução técnica de elevada qualidade, pois permitem:

- A dispensa de paredes duplas, permitindo a diminuição da espessura das paredes e consequentemente um aumento da área habitável;
- A redução das pontes térmicas, permitindo um revestimento térmico sem interrupções nas zonas estruturais e obtendo-se um coeficiente de transmissão térmica nestas zonas próximo do da envolvente (Figura 4);

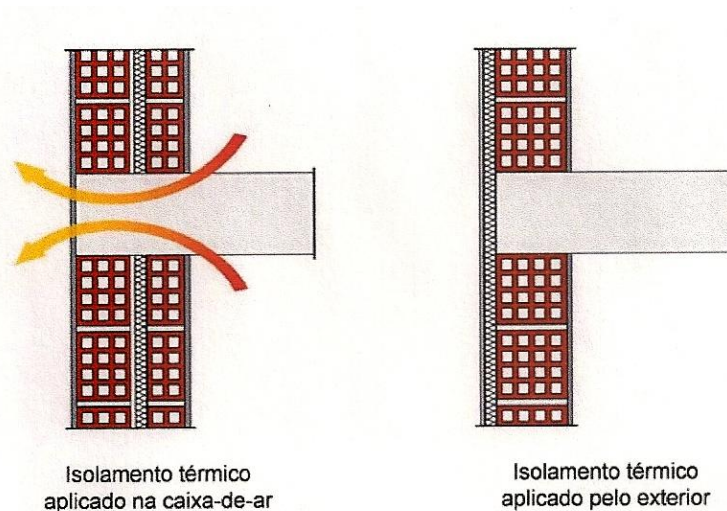


Figura 4: Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas [18]

- A redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura;
- O aumento da inércia térmica interior dos edifícios, uma vez que a maior parte da massa das paredes se encontra protegida das variações de temperatura no interior da camada de isolante térmico. Este facto reflecte-se na melhoria do conforto térmico de Inverno, por aumento dos ganhos solares úteis, e também de Verão devido à capacidade de regulação da temperatura interior;
- Melhoria da impermeabilidade das paredes, uma vez que este sistema é classificado como estanque devido ao facto de ser composto por ligantes sintéticos e mistos, actuando como uma barreira a humidades provenientes do exterior;
- Acompanham os movimentos do edifício, pelo que não sofrem fissurações;
- Diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes. O choque térmico, bem como as temperaturas mais severas ocorrem no isolante, estando a temperatura da parede sempre próxima da temperatura interior (Figura 5);

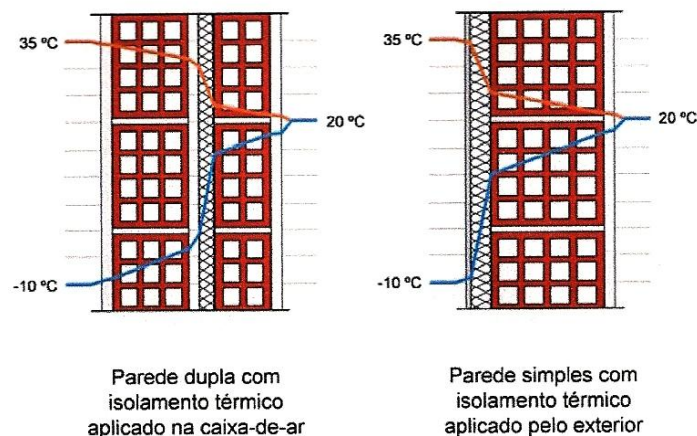


Figura 5: Comparação do gradiente de temperaturas a que estão sujeitas uma parede dupla com sistema tradicional de isolamento térmico aplicado na caixa-de-ar e uma parede simples com isolamento térmico aplicado pelo exterior [18]

- Diminuição do risco de condensações no interior das paredes envolventes ou à sua superfície, uma vez que a temperatura da superfície interior das paredes é mais elevada, mesmo nas superfícies em contacto com vigas ou pilares, afastando-se da temperatura de orvalho (limite inferior de temperatura a partir do qual o vapor de água contido no ar passa para o estado líquido);
- Possibilidade de alteração do aspecto das fachadas e colocação em obra sem perturbar os ocupantes dos edifícios, já que as intervenções são realizadas pelo exterior;
- Custos de manutenção reduzidos;

3.3.2.3 Desvantagens do sistema de isolamento térmico pelo exterior

Principais desvantagens apresentadas pelo sistema:

- Necessidade de mão-de-obra especializada;
- Aplicação dificultada quando há aberturas e pormenores complicados;
- Reacção ao fogo elevada;

3.3.2.4 Descrição do sistema ETICS

Os sistemas mais frequentes no mercado apresentam pequenas variantes em torno de uma solução que é geralmente constituída por um pano simples de alvenaria, o isolante térmico mais utilizado é o poliestireno expandido (EPS) em placas, coladas e/ou fixadas mecanicamente ao pano de parede, sendo revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com rede de fibra de vidro (Figura 6). Como acabamento é utilizado, geralmente, um revestimento plástico espesso de carácter decorativo e de estanquidade à água, que proporciona a resistência às solicitações climáticas e mecânicas.

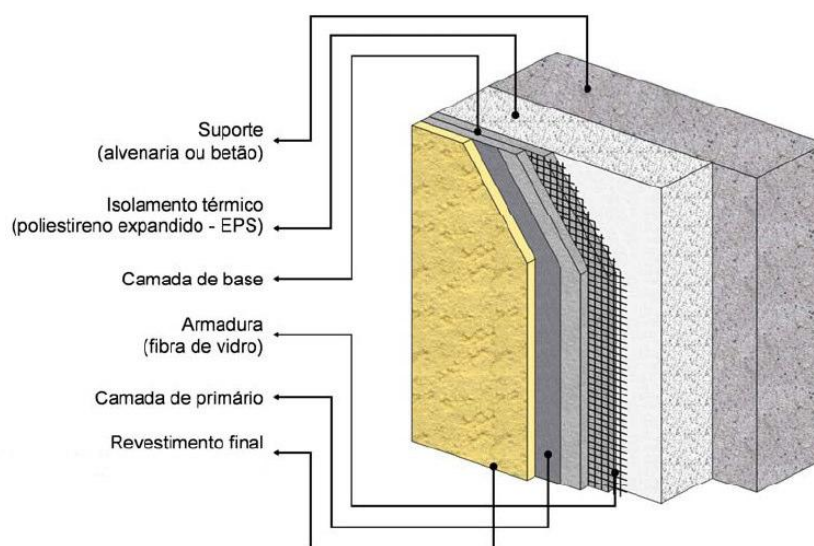


Figura 6: Constituição do sistema ETICS [12]

3.3.2.5 Materiais/elementos constituintes

Os elementos que constituem o sistema, bem como as suas características variam de acordo com o fabricante, no entanto devem sempre respeitar o respectivo documento de homologação.

As descrições e características que são apresentadas no Quadro 1 e Quadro 2 foram obtidos com base na documentação técnica referenciada na bibliografia do presente trabalho e dizem respeito aos componentes do sistema ETICS com maior utilização no mercado ([5], [12], [13]).

Quadro 1: Materiais/elementos constituintes do sistema ETICS e principais características (Parte I)

ELEMENTOS CONSTITUINTES	CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES PRINCIPAIS
MATERIAL DE COLAGEM	<p>Produto utilizado para a preparação da cola que se destina a fixar, por aderência, o isolante térmico ao suporte. Geralmente é um produto pré-doseado, fornecido em:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pó e ao qual se adiciona apenas água; - Pó para mistura com um determinado ligante (resina); - Pasta, à qual se adiciona 30% em peso de cimento Portland;
PLACAS DE ISOLANTE TÉRMICO (EPS)	<p>O isolamento térmico destina-se a aumentar a resistência térmica da parede na qual é aplicado o sistema.</p> <p>Os componentes químicos do poliestireno expandido (EPS) são o poliestireno, o agente expensor (principalmente o pentano) e o ar. Pode ser fornecido em placas com contorno plano ou com entalhe. A espessura de isolamento a utilizar deverá ser definida pelo cálculo térmico. [14]</p> <p>As placas de EPS são o isolamento térmico mais utilizado para o sistema ETICS, devido às suas características, nomeadamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A leveza: permitindo fácil manuseamento e aligeirando a estrutura; - A facilidade de corte; - Resiste à humidade e à putrefacção; - Baixa condutibilidade térmica, devido à sua estrutura de células fechadas e cheias de ar que dificultam a passagem de calor; - Estabilidade dimensional; - Bom comportamento face à água; - Permeável ao vapor de água;
CAMADA DE BASE	<p>A camada de base é constituída pelo reboco (barramento) de alguns milímetros de espessura (entre 2 e 5mm), executado em várias passagens sobre o isolamento, de forma a permitir o completo recobrimento da armadura. O produto utilizado é geralmente idêntico ao de colagem.</p>
ARMADURAS	<p>Para as armaduras, é utilizada rede de fibra de vidro (tecidas ou termo-coladas), incorporadas na camada de base, com tratamento de protecção anti-alcalino.</p> <p>Distinguem-se dois tipos de armaduras:</p> <ul style="list-style-type: none"> - As “armaduras normais” têm como função melhorar a resistência mecânica do reboco e assegurar a sua continuidade; - As “armaduras reforçadas” são utilizadas como complemento das armaduras normais para melhorar a resistência aos choques do reboco.
PRIMÁRIO	<p>O primário é basicamente uma pintura opaca à base de resinas em solução aquosa, que é aplicada directamente sobre a camada de base. É necessário que o produto seja compatível com a alcalinidade da camada de base.</p> <p>O primário tem como finalidade regular a absorção e melhorar a aderência da camada de acabamento. De salientar que nem sempre se aplica esta camada.</p>

Quadro 2: Materiais/elementos constituintes do sistema ETICS e principais características (Parte II)

REVESTIMENTO DE ACABAMENTO	<p>Como revestimento final é normalmente utilizado um revestimento plástico espesso (RPE). No entanto, e consoante a marca de cada sistema, podem ser utilizados outros revestimentos desde que convenientemente testados e especificados no documento de homologação do sistema.</p> <p>A camada de acabamento confere um aspecto decorativo e contribui para a protecção do sistema contra os agentes climáticos. Esta camada é aplicada sobre a camada de base ou sobre a camada de primário (caso exista).</p>
FIXAÇÃO MECÂNICA	<p>Em determinados casos (edifícios em altura) é necessário recorrer à fixação mecânica das placas de isolamento térmico. Nos sistemas colados, apesar de a sua estabilidade ser totalmente assegurada pela colagem, também é possível utilizar fixações mecânicas complementares.</p> <p>As fixações mecânicas destinam-se, eventualmente, a fixar as placas de isolamento até à secagem da cola ou, a evitar a queda das mesmas, em caso de descolagem do sistema.</p> <p>São utilizadas fixações compostas por buchas em plástico de cabeça circular com, pelo menos 50 mm de diâmetro e por um prego ou um parafuso metálico no seu interior.</p>
ACESSÓRIOS	<p>O sistema ETICS inclui também produtos e componentes que se utilizam para o reforço de pontos singulares, para a ligação com elementos construtivos e para assegurar a continuidade do sistema. Deste modo, para reforço das arestas do sistema, utilizam-se perfis em alumínio, aço inoxidável, fibra de vidro ou ainda em PVC ou alumínio com armaduras de fibra de vidro.</p> <p>Os perfis metálicos de ligação com elementos construtivos poderão ser em:</p> <ul style="list-style-type: none">- Alumínio ou aço inoxidável (perfis de arranque, perfis laterais à vista ou não, peitoris, capeamentos);- Alumínio pré-lacado ou anodizado (perfis à vista);- Zinco (rufos e capeamentos). <p>Não deverão ser utilizados perfis em aço galvanizado.</p>

3.3.2.6 Aplicação do sistema ETICS

O sistema ETICS é aplicado em paredes exteriores de edifícios novos ou existentes (reabilitação), cujos suportes podem ser constituídos por:

- Paredes de alvenaria de pedra, tijolo, blocos de betão de inertes correntes ou blocos de betão leve;
- Paredes de painéis pré-fabricados de betão;
- Paredes de betão moldado “in situ” de inertes correntes ou leves.

O sistema pode também ser aplicado em superfícies horizontais ou inclinadas, desde que estas não estejam expostas à precipitação, por exemplo, a sub-face de varandas. É aplicado ainda em suportes rebocados, pintados ou com revestimentos orgânicos ou minerais, desde que sejam convenientemente preparados.

Existe um grande número de operações envolvidas na aplicação dos ETICS, existindo listas extensas com a sequência correcta, nas recomendações técnicas dos fabricantes e em bibliografia da especialidade. De uma forma muito generalista, a execução de um sistema de isolamento térmico deste tipo pode ser descrita na seguinte sequência de operações:

1. Preparação do suporte, que deve estar limpo e sem grandes irregularidades superficiais;
2. Fixação mecânica ao suporte dos perfis de arranque (limitam o contorno inferior dos ETICS (Figura 7);



Figura 7: Perfil de arranque onde apoia primeira fiada de placas [13]

3. Fixação das placas de isolante térmico ao suporte. Como foi anteriormente referido, esta fixação poderá ser por colagem (Figura 8), mecânica (Figura 9) ou ambas. A colagem mais eficaz é a contínua, uma vez que as colagens por pontos ou bandas originam espaços vazios nas placas, sendo que ao longo do tempo estas têm maior probabilidade de empenar;

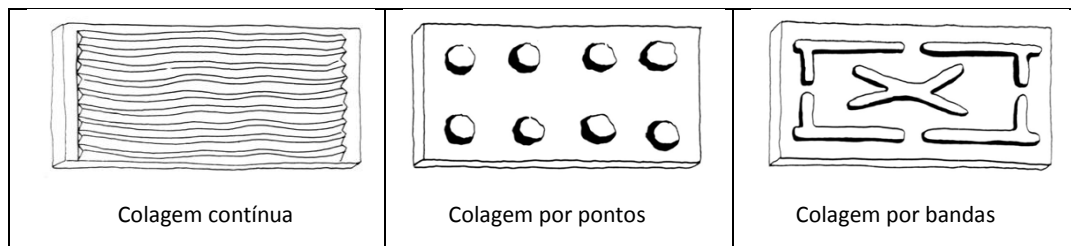


Figura 8: Exemplos de colagem das placas de isolante térmico

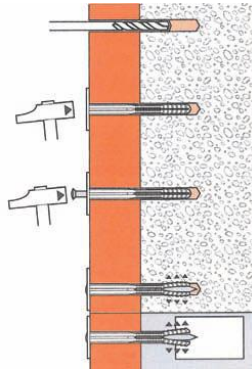


Figura 9: Fixação Mecânica [13]

4. Colagem dos perfis de canto, sobre o isolante térmico (Figura 10);



Figura 10: Cantoneira [13]

5. Aplicação da primeira demão da camada de base, com recurso a uma talocha metálica, recobrindo as cantoneiras de protecção;

6. Colocação e embebimento da armadura do revestimento, sobre a primeira demão da camada de base, ainda fresca, mediante passagem com a talocha metálica (Figura 11);



Figura 11: Embebimento da armadura do revestimento na camada de base

7. Após secagem da primeira demão da camada de base aplica-se uma nova demão, recobrindo por completo a armadura;
8. Eventual aplicação do primário sobre a camada de base, por forma a melhorar a aderência da camada de acabamento;
9. Aplicação, com talocha ou rolo, da camada de acabamento final do revestimento (Figura 12).



Figura 12: Aplicação da camada de acabamento final

Importa mais uma vez referir que as várias fases descritas são de carácter particularmente exemplificativo, devendo para cada sistema a aplicar ser estritamente seguidas as várias fases definidas e detalhadas nos respectivos manuais técnicos de cada fabricante.

Na Figura 13 apresentam-se algumas imagens referentes a particularidades da aplicação do sistema.

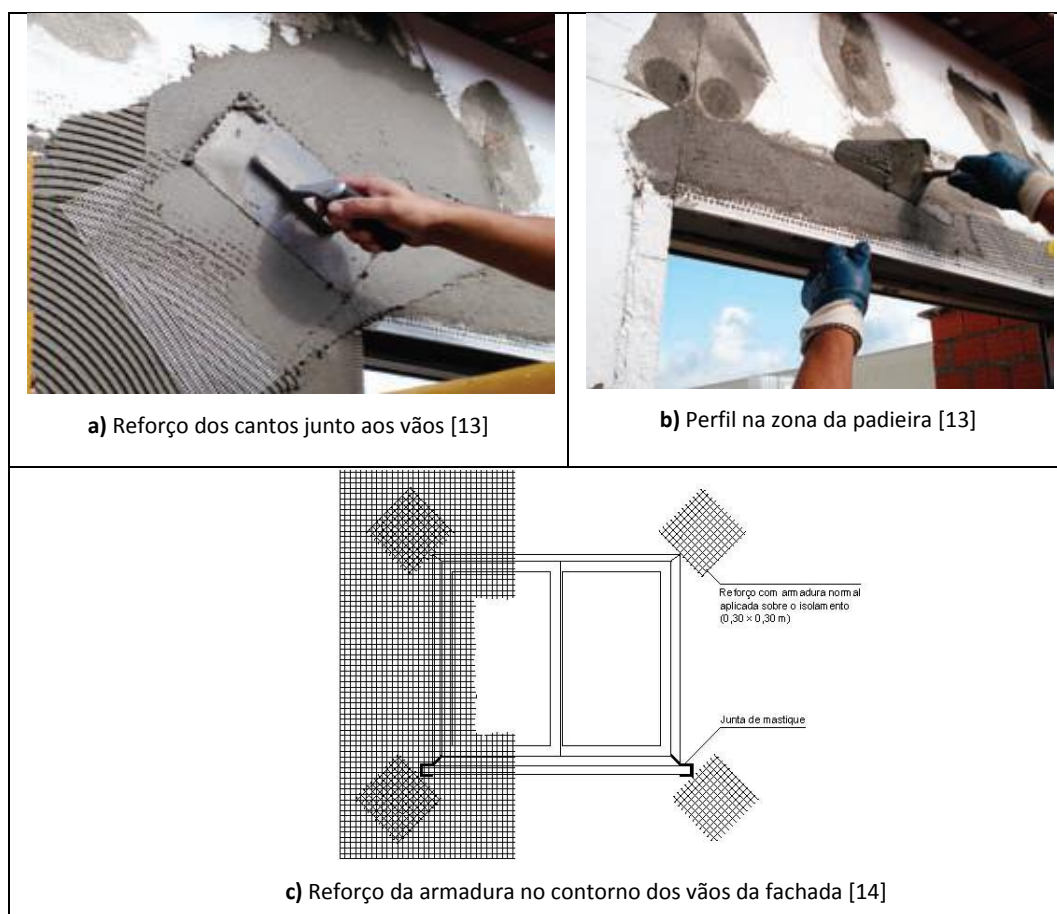


Figura 13: Particularidades da aplicação do sistema ETICS

3.3.2.7 Patologias

Um estudo realizado em França [19], permitiu verificar quais as anomalias mais frequentes dos ETICS (Figura 14). Os dados são referentes às anomalias declaradas às companhias de seguros entre 1979 e 1985.

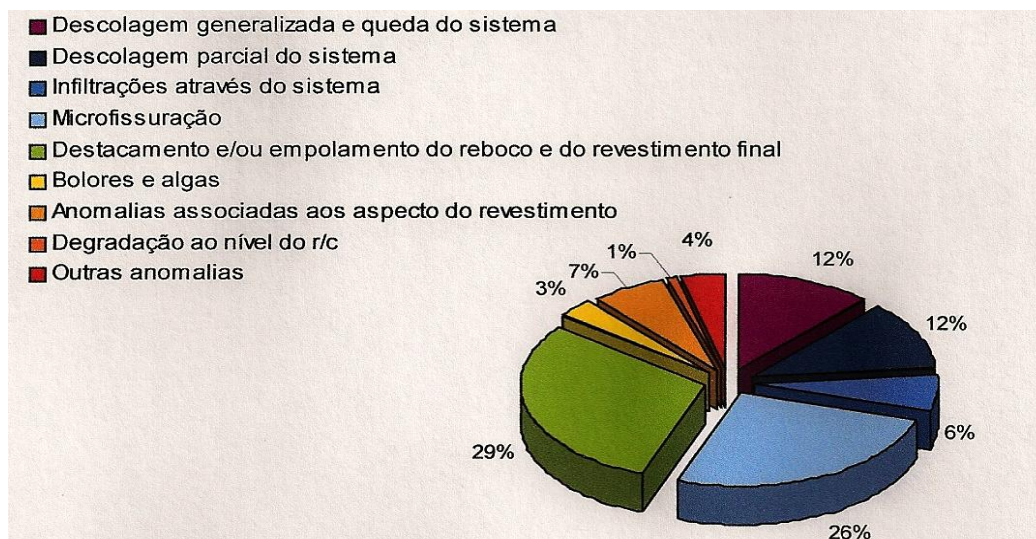


Figura 14: Distribuição das patologias associadas aos ETICS [18]

Das principais anomalias apresentadas pelo sistema enumera-se em seguida possíveis causas:

Quadro 3: Anomalias mais frequentes e possíveis causas [20]

TIPO DE ANOMALIA	CAUSAS DE DEGRADAÇÃO
DESCOLAGEM DO SISTEMA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiente preparação do suporte ▪ Falta do produto de colagem ▪ Movimentos acentuados do suporte ▪ Acção da água no tardo (infiltrações pelo bordo superior)
FISSURAÇÃO DO REVESTIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta pontual de armadura ▪ Espessura de revestimento muito reduzida ▪ Armadura insuficientemente embebida na camada de base ▪ Colocação defeituosa das cantoneiras
DESENVOLVIMENTO DE VEGETAÇÃO PARASITÁRIA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicação do sistema feita em zonas e épocas de grande concentração de esporos no ar ▪ Aplicação em condições climáticas propícias ao desenvolvimento de líquenes ▪ Aplicação de revestimentos contaminados (deficiência de armazenamento)
ANOMALIAS ASSOCIADAS AO ASPECTO DO REVESTIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixação de poeiras nas zonas de escorrência preferencial da água ▪ Manchas provenientes da oxidação de metais (caixilhos e capeamentos)

3.3.3 Comportamento térmico

Nesta secção do trabalho, apresentam-se com base no ITE 50 [2], os valores do coeficiente de transmissão térmica para o sistema ETICS (composto por tijolo furado 30x20x22 e isolante térmico EPS) - Quadro 4 - e para a solução parede dupla com isolante térmico (XPS) a preencher parcialmente o espaço de ar e panos de alvenaria de tijolo furado 30x20x15 + 30x20x11 - Quadro 5.

Quadro 4: Coeficiente de transmissão térmica para o sistema ETICS

EPS (mm)	U (W/m ² .°C)
30	0.67
40	0.58
60	0.45
80	0.37

Quadro 5: Coeficiente de transmissão térmica para parede dupla com isolante térmico XPS

XPS (mm)	U (W/m ² .°C)
30	0.65
40	0.55
60	0.42
80	0.35

Como se pode observar pelos quadros anteriores, a solução parede dupla apresenta coeficientes de transmissão térmica sensivelmente mais baixos que a solução ETICS. No entanto, para o mesmo isolante térmico (EPS), as duas soluções apresentam valores idênticos de coeficiente de transmissão térmica (Quadro 6).

Quadro 6: Coeficiente de transmissão térmica para parede dupla com isolante térmico EPS

EPS (mm)	U (W/m ² .°C)
30	0.67
40	0.58
60	0.45
80	0.37

CAPÍTULO 4- ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

4.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as ferramentas que foram utilizadas na análise do comportamento térmico do edifício em estudo, nomeadamente, o RCCTE e o software *Energy Plus*.

Sendo o edifício novo e de carácter residencial, a utilização do RCCTE para a elaboração deste trabalho é fundamental, uma vez que, entre outros aspectos, as soluções construtivas a adoptar deverão estar em conformidade com este dispositivo legal, pelo que a sua descrição será feita neste capítulo. Também a ferramenta de cálculo, *Energy Plus* será abordada, ressaltando que serão apenas descritos os comandos utilizados na elaboração deste trabalho.

4.2 O RCCTE

Em Portugal, o Regulamento das Características de Comportamento térmico dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei nº40/90, de 6 de Fevereiro [2], foi o primeiro instrumento legal que impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações de modo a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão. Em paralelo, o RCCTE visava também garantir a minimização de efeitos patológicos na construção derivados das condensações internas e superficiais nos elementos da envolvente.

Vinte anos passaram e verifica-se que o RCCTE constituiu um marco significativo na melhoria da qualidade da construção em Portugal. Alguns dos pressupostos do regulamento, tal como definido em 1990, têm vindo a alterar-se. O actual RCCTE (Decreto-lei nº 80/2006) [23], à semelhança da versão de 1990, analisa em separado as estações de aquecimento e arrefecimento, mantendo requisitos exigências em função de cada zona climática, tendo estas sido actualizadas com dados climáticos mais detalhados. Porém, as metodologias adoptadas para o cálculo das necessidades de aquecimento e de arrefecimento foram actualizadas tendo por base as normas europeias referenciadas na Directiva Comunitária 2002/91/CE [27]

(estabelece que os Estados Membros deverão proceder à elaboração de regulamentos que conduzam à redução dos consumos energéticos nos edifícios bem como à sua revisão periódica de 5 em 5 anos e, se necessário, à actualização dos mesmos a fim de reflectirem o progresso técnico no sector). Passa a ter também em conta novos parâmetros, tais como o factor de forma do edifício e a permeabilidade ao ar das caixilharias e, quantifica de uma forma mais pormenorizada o efeito das pontes térmicas lineares e planas, tendo em vista uma melhor avaliação da qualidade térmica do edifício.

O RCCTE de 2006 torna ainda obrigatório, para todos os novos edifícios, o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária desde que os edifícios possuam uma exposição solar adequada, prevendo ainda, em alternativa aos painéis para aquecer a água nos edifícios, o recurso a outras formas renováveis de energia com capacidade de captação equivalente numa base anual, que podem ser utilizadas para outros fins que não o de aquecimento de água se tal for mais eficiente ou conveniente.

A nova versão do RCCTE contabiliza, assim, a energia despendida para produção de águas quentes sanitárias e tem em conta o tipo de sistema de aquecimento e de arrefecimento bem como as fontes de energia primária utilizadas, conduzindo a diferentes requisitos em função da eficiência dos equipamentos.

4.2.1. Metodologia de Cálculo

Neste ponto do trabalho será descrita, de uma forma simplificativa, a metodologia de cálculo do RCCTE. Dado que o estudo realizado incide no impacto da solução construtiva da envolvente ao nível das necessidades energéticas do edifício, será apenas abordado o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento.

▪ Condições de Referência:

- As condições ambientais de conforto de referência são uma temperatura de 20°C para o Inverno e uma temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa para o Verão;

- A taxa de referência para a renovação de ar, para garantia da qualidade do ar interior, é de 0,6 renovações por hora, devendo as soluções construtivas adoptadas garantir este valor sob condições médias de funcionamento.

▪ Método de Cálculo das Necessidades de Aquecimento

Considera-se todo o edifício como uma única zona, mantido permanentemente à mesma temperatura de referência (20°C).

As necessidades anuais de aquecimento do edifício (N_{ic}) - por área útil de pavimento (A_p) - são obtidas pelo balanço entre as perdas de calor pela envolvente, por condução (Q_t) e por renovação de ar (Q_v), e os ganhos de calor úteis (Q_{gu}), de acordo com a equação 1:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (1)$$

A metodologia de cálculo para cada um destes termos apresenta-se de seguida, de forma muito sintética.

- Perdas de calor por condução através da envolvente: são obtidas pela soma das perdas por zonas correntes (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas) em contacto com o exterior (Q_{ext}) ou locais não aquecidos (Q_{lna}), perdas por paredes ou pavimentos em contacto com o solo (Q_{pe}) e perdas por pontes térmicas (Q_{pt}):

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (2)$$

Sendo cada uma destas categorias de perdas obtidas como se indica:

$$Q_{ext} = 0,024 \times U \times A \times GD \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

$$Q_{lna} = 0,024 \times U \times A \times GD \times \tau \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

$$Q_{pe} = 0,024 \times L_{pe} \times GD \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

$$Q_{pt} = 0,024 \times L_{pt} \times GD \text{ [kWh]} \quad (6)$$

Em que os diferentes parâmetros têm o seguinte significado:

0,024 - Resultado obtido pela expressão 24 horas/1000;

A - Área do elemento (m²);

U - Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (W/m².°C);

GD - Graus-dias de aquecimento (função do local e tabelado no anexo II do RCCTE);

T - Coeficiente de redução das perdas térmicas associadas aos locais não aquecidos (Tabela IV.1 do RCCTE);

L_{pe} - Perdas unitárias de calor através dos elementos de construção em contacto com o terreno, $L_{pe} = \psi_j \times B_j$ (coeficiente de transmissão térmica linear – Tabela IV.2 do RCCTE – e desenvolvimento da parede medido pelo interior do elemento j);

L_{pt} - Perdas unitárias de calor através das pontes térmicas, $L_{pt} = \psi_j \times B_j$ (coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear – Tabela IV.3 do RCCTE – e desenvolvimento da ponte térmica linear j medido pelo interior);

- Perdas de calor resultantes da renovação do ar: são obtidas através da seguinte expressão:

$$Q_v = GD \times 0,024 \times (A_p \times P_d \times R_{ph} \times 0,34) \text{ [kWh/ano]} \quad (7)$$

Em que:

A_p - Área útil de pavimento (m²);

P_d - Pé direito (m);

R_{ph} - Taxa de renovação horária (h⁻¹) (Quadro IV.1 do RCCTE).

- Ganhos térmicos úteis: são obtidos através do produto dos ganhos térmicos brutos (Q_g) pelo factor de utilização dos ganhos (η), como mostra a equação 8:

$$Q_{gu} = Q_g \times \eta \text{ [kWh]} \quad (8)$$

Sendo os ganhos térmicos brutos, por sua vez, o resultado da soma dos ganhos térmicos internos – Q_i (ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação), com os ganhos solares (Q_s):

$$Q_g = Q_i + Q_s \text{ [kWh]} \quad (9)$$

Estas duas categorias de ganhos são obtidas a partir das seguintes expressões, respectivamente:

$$Q_i = 0,72 \times q_i \times M \times A_p \text{ [kWh]} \quad (10)$$

$$Q_s = G_{sul} \times M \times \sum_j [X_j \times \sum_n A_{snj}] \text{ [kWh]} \quad (11)$$

Nestas equações os diferentes parâmetros têm as seguintes definições:

q_i – Ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento, em W/m^2 (Quadro IV.3 do RCCTE);

M – Duração média da estação de aquecimento (meses) (Anexo II do RCCTE);

G_{sul} – Valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul de área unitária durante a estação de aquecimento ($kWh/m^2.mês$) (Quadro III.8 do RCCTE);

X – Factor de orientação para as diferentes exposições (Quadro IV.4 do RCCTE);

A_{snj} – Área efectiva colectora da radiação solar da superfície n que tem orientação j (m^2), dada por:

$$A_s = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g_{\perp} \text{ [m}^2\text{]} \quad (12)$$

Em que:

A – Área total do vão envidraçado, isto é, área da janela, incluindo vidro e caixilho (m^2);

F_g – Factor fracção envidraçada, que contabiliza a redução da transmissão de radiação solar devido ao caixilho do envidraçado (Quadro IV.5 do RCCTE);

F_w – Factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados. Traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa. Para vidros correntes simples e duplos assume o valor 0,9;

g_{\perp} - Factor solar do vão envidraçado, obtido consultando a Tabela IV.4.1 e IV.4.2 do RCCTE relativamente a superfícies de vidro ou de plástico, respectivamente;

F_s – Factor de obstrução, que contabiliza a redução de transmissão de radiação solar devido a vários obstáculos, dado pela equação 13:

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad (13)$$

Sendo:

F_h – Factor de obstrução por obstáculos exteriores ao edifício (Tabela IV.5 do RCCTE);

F_o – Factor de obstrução por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado, como palas e varandas (Tabela IV.6 do RCCTE);

F_f – Factor de obstrução por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, como palas de corpo do edifício (Tabela IV.7 do RCCTE);

O factor de utilização dos ganhos úteis (η) depende da inércia térmica do edifício traduzida por um factor (a) – igual a 1,8 para inércia térmica fraca, 2,6 para inércia térmica média e 4,2 para inércia térmica forte – e da relação (γ) entre os ganhos e as perdas térmicas do edifício, da forma que se indica:

$$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad \text{se } \gamma \neq 1 \quad (14)$$

$$\eta = \frac{a}{a+1} \quad \text{se } \gamma=1$$

Em que:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Totais brutos}}{\text{Perdas Térmicas Totais}} = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v} \quad (15)$$

A classe de inércia térmica interior do edifício é obtida a partir de um índice de massa superficial útil através da equação 16:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (16)$$

Em que:

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i (kg/m^2), obtida de acordo com o princípio de cálculo descrito no Anexo VII do RCCTE;

S_i – Área da superfície interior do elemento i (m^2);

A_p – Área útil de pavimento (m^2).

Conforme a gama de valores deste índice, a classe de inércia térmica interior é por sua vez, definida de acordo com o Quadro 7 (Quadro VII.6 do RCCTE):

Quadro 7: Classes de inércia térmica interior (Quadro VII.6 do RCCTE)

CLASSE DE INÉRCIA	MASSA SUPERFICIAL ÚTIL POR METRO QUADRADO DE ÁREA DE PAVIMENTO (kg/m^2)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t < 400$
Forte	$I_t > 400$

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i) é função do factor de forma e dos Graus-dias de aquecimento.

O factor de forma traduz a compacidade do edifício e é obtido através do quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício, através das quais se verificam trocas de calor, afectadas do coeficiente τ e o respectivo volume interior.

▪ Método de Cálculo das Necessidades de Arrefecimento

As necessidades nominais de arrefecimento de uma fracção autónoma de um edifício correspondem à energia útil que seria necessário retirar para que no seu

interior não seja excedida a temperatura de 25°C durante toda a estação convencional de arrefecimento (desde Junho até Setembro, inclusive).

As necessidades de arrefecimento do edifício (N_{vc}) são calculadas com recurso à expressão 17:

$$N_{vc} = \frac{Q_g \times (1 - \eta)}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (17)$$

Em que:

$(1 - \eta)$ – Factor de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento. O coeficiente η tem o mesmo significado do definido na situação de Inverno, no entanto é calculado com base em condições distintas;

Q_g – Ganhos totais brutos, obtidos através da equação 18:

$$Q_g = Q_{ar-sol} + Q_s + Q_i \quad [\text{kWh}] \quad (18)$$

Sendo:

Q_s – Ganhos solares através dos vãos envidraçados;

Q_i – Cargas internas, devidas aos ocupantes, aos equipamentos e à iluminação;

Q_{ar-sol} - Ganhos solares pela envolvente opaca devidos à incidência da radiação solar:

$$Q_{ar-sol} = U \times A \times \left(\frac{\alpha \times I_r}{h_e} \right) \quad (19)$$

Nesta equação, os diferentes parâmetros têm as seguintes definições:

α - Coeficiente de absorção da superfície exterior da parede (Quadro V.5 do RCCTE);

I_r – Intensidade média de radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento (kWh/m^2) (Quadro III.9 do RCCTE);

h_e – Conductância térmica superficial exterior do elemento da envolvente, que toma o valor de $25\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$).

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento depende da zona climática onde se insere o edifício.

▪ Aspectos Gerais

O cálculo das perdas por condução através dos elementos da envolvente é função do seu coeficiente de transmissão térmica (U) e da área (A) que ocupam nas diferentes soluções construtivas. Para cada zona climática foi estabelecido um valor de U máximo admissível de elementos opacos, sendo que, para zonas de ponte térmica plana o valor de U não pode ser superior ao valor dos elementos homólogos em zona corrente e respeitando sempre os valores máximos estabelecidos.

Realizar uma análise térmica com base no actual RCCTE torna-se simples, com recurso a folhas de Excel programadas para o efeito, só o cálculo dos ganhos solares é mais complexo, devido ao elevado número de factores multiplicativos que é necessário calcular (factor de orientação, fracção envidraçada, factor de sombreamento, factor de selectividade angular dos envidraçados, etc.).

4.3 O *Energy Plus*

O *Energy Plus* é um programa informático utilizado para o estudo do comportamento térmico dos edifícios e do consumo energético associado. Foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, resultando de dois programas já existentes, o *Blast* e o *DOE-2*. O *Energy Plus* pode ser obtido online, de uma forma rápida e gratuita.

A estrutura do programa apresenta-se na Figura 15, sendo composta por três componentes básicos: um Controlador de Simulação, um Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa e um Módulo de Simulação dos Sistemas da Edificação. O Controlador da Simulação coordena os Módulos de Simulação nas suas acções

individuais. O programa faz a simulação do balanço térmico e de massa de uma determinada zona de um edifício. Poderão ser introduzidos, na zona a analisar, os vários sistemas de climatização nela existentes, de forma a obter os consumos associados às temperaturas interiores pretendidas [28].

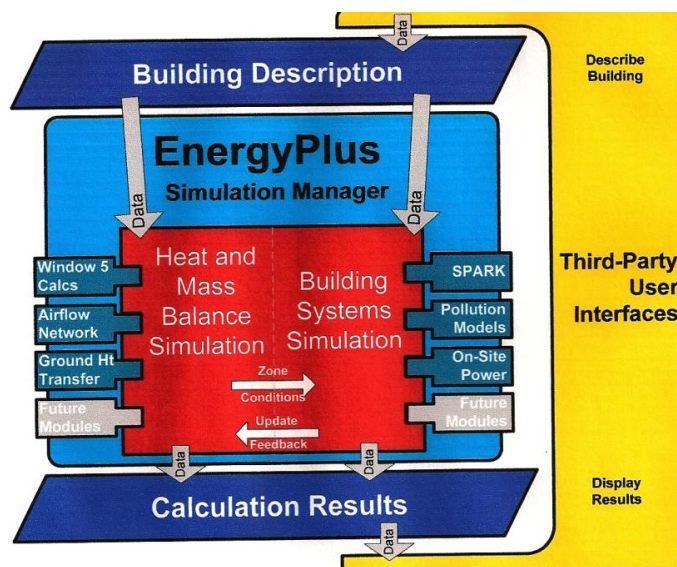


Figura 15: Diagrama de funcionamento do Energy Plus [3]

O *Energy Plus* apresenta um ambiente gráfico pouco atractivo mas revela-se uma ferramenta extremamente útil dadas as suas capacidades, de entre as quais se destaca o seu sistema modular que permite definir várias zonas térmicas e, de forma diferenciada, obter resultados relativamente à infiltração e aos ganhos internos. Com este software é possível simular um diverso conjunto de cenários, como a geometria, as soluções construtivas, os sistemas de climatização e até diferentes hábitos dos ocupantes, tornando-o numa mais-valia no objectivo de encontrar soluções vantajosas, que dificilmente se poderiam obter através de cálculos manuais.

O programa dispõe da possibilidade de fornecer os dados resultantes das simulações em intervalos de tempo (*time-step*) máximos de uma hora, podendo o utilizador optar por intervalos mais reduzidos, obtendo desta forma um conhecimento mais pormenorizado do comportamento térmico do edifício.

O cálculo das necessidades energéticas de um edifício com recurso ao *Energy Plus* é realizado através da inserção de dados pelo utilizador, tais como: geometria do edifício, materiais e diferentes soluções construtivas, hábitos dos ocupantes, sistemas

de climatização, bem como do respectivo ficheiro climático correspondente à zona de implantação do edifício.

Na Figura 16 apresenta-se um esquema geral de funcionamento do *Energy Plus*, ilustrando apenas os módulos utilizados para elaboração desta dissertação.

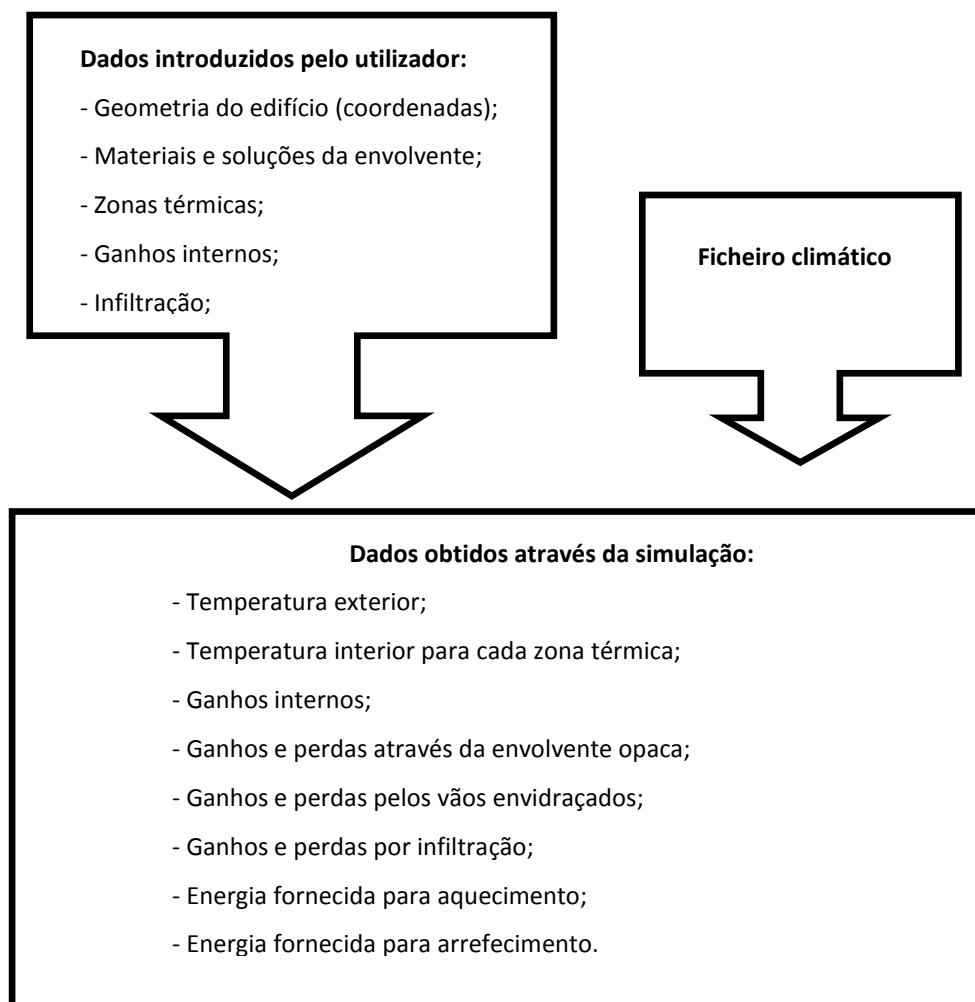


Figura 16: Diagrama de dados de entrada e saída do *Energy Plus*

Os dados são inseridos pelo utilizador num editor de texto, em formato IDF (Input Date File) (Figura 17), pelo que é aconselhável, à medida que se introduzem os dados, especialmente a geometria, utilizar o EP-Launch para fazer frequentes simulações por forma a ir eliminando eventuais erros. Nos arquivos de saída do *Energy Plus*, estão, entre outros, um ficheiro em formato “Error log”, onde os erros são agrupados consoante a gravidade. A detecção de um erro do tipo “warning” não compromete a simulação e está associado a erros menos graves. Um erro do tipo

“severe” pode comprometer os resultados da simulação e tem impreterivelmente de ser corrigido, bem como um erro do tipo “fatal”, resultante da combinação dos dois tipos anteriores e que impede a ocorrência da simulação [10]. A geometria modelada pode ser observada através de um ficheiro em formato CAD.

Os resultados obtidos para cada simulação podem ser convertidos em gráficos com recurso ao programa Excel, para uma melhor interpretação dos resultados, sendo esta a metodologia apresentada no presente trabalho.

Há dois aspectos a salientar: apesar de o programa possibilitar a definição de um sistema de climatização, como o principal objectivo deste trabalho é a caracterização das trocas de calor através da envolvente (variando apenas as soluções construtivas e a localização do edifício), optou-se por não considerar nenhum equipamento específico, quantificando-se apenas a energia útil necessária à promoção das condições de conforto térmico, traduzidas simplificadaamente em dois valores limite de temperatura do ar: 20°C para o Inverno (que não deve ser inferiormente excedido) e 25°C para o Verão (valor que não deve ser superiormente excedido). O outro aspecto prende-se com a ventilação, tendo-se optado pela introdução de ar no edifício de forma controlada, através de taxas de renovação horárias, de acordo com o RCCTE.

No ponto 4.5 serão descritos os principais comandos utilizados no *Energy Plus* para realização desta dissertação.

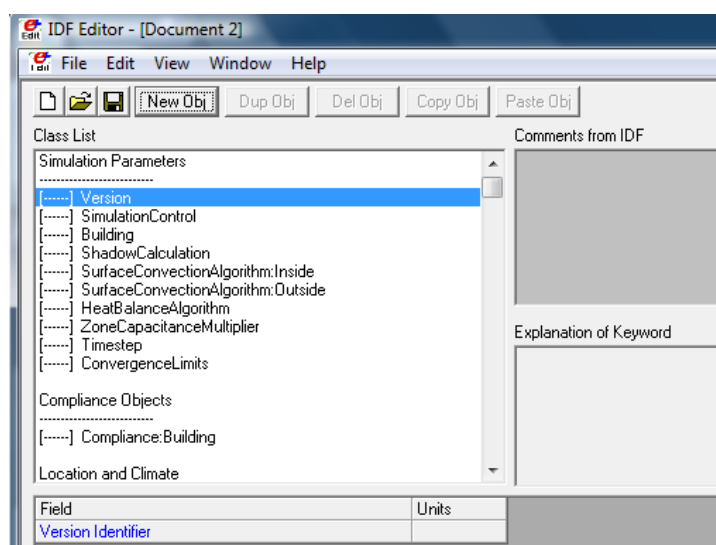


Figura 17: Arquivo de entrada do *Energy Plus*

4.4 Análise Estática versus Análise Dinâmica

Para realização deste trabalho optou-se pela análise do comportamento térmico do edifício com base numa análise estática (RCCTE) e dinâmica (*Energy Plus*).

A análise estática com recurso ao regulamento RCCTE tem por base um conjunto de pressupostos (como temperatura constante para o interior e exterior, durante as estações de aquecimento e arrefecimento) que, na realidade, podem não corresponder às condições que os edifícios estão sujeitos. Na verdade, especialmente as condições exteriores são muito variáveis, mesmo ao longo de um só dia. Basta observar um registo de temperaturas ou de humidades relativas de um dia, para se encontrar amplitudes consideráveis. No entanto, embora pouco rigorosa, a análise de comportamento térmico de um edifício com base no RCCTE fornece uma estimativa aceitável das necessidades energéticas para cada estação, na premissa da temperatura ser mantida nos valores de referência definidos no regulamento.

No que diz respeito à análise dinâmica é possível elaborar simulações de grande complexidade com base num elevado número de variáveis, obtendo-se então resultados mais próximos da realidade. A análise dinâmica permite analisar ao pormenor de uma forma rigorosa, os diferentes tipos de gastos energéticos nas diferentes estações do ano e a partir daqui definir soluções com o intuito de tornar o edifício mais eficiente energeticamente.

De um modo geral, como principais vantagens e desvantagens da análise estática e dinâmica pode-se destacar:

Modelos estáticos:

- Vantagens: simples, um auxiliar à decisão quando usado para comparar resultados de consumos energéticos de diferentes soluções genéricas de projecto (orientação, área de envidraçado...) com uma solução de referência.
- Desvantagens: cálculos manuais e cálculos grosseiros (não tem em conta a variação das acções desenvolvidas no interior do edifício).

Modelos dinâmicos:

- Vantagens: modelação ao longo do período do tempo (diária, horária, etc.); tem em conta dados meteorológicos com recurso a ficheiros climáticos da zona de implantação

do edifício; possibilidade de definição de diferentes zonas térmicas dentro do mesmo espaço.

- Desvantagens: com recurso ao software o projectista perde a sensibilidade de cálculos manuais.

De acordo com o balanço energético, pode resumidamente referir-se as principais diferenças entre a metodologia do RCCTE e a do *Energy Plus*:

- Ganhos internos: resultam, como já foi anteriormente referido, do funcionamento de equipamentos e iluminação, assim como dos hábitos dos ocupantes. Tendo conhecimento das actividades dos ocupantes e da quantidade de energia consumida em iluminação e equipamentos, com o *Energy Plus* é possível obter um valor mais preciso para os ganhos internos, apesar de estes serem dificilmente quantificáveis de uma forma exacta. O RCCTE assume um valor médio em Watt por metro quadrado consoante a finalidade do edifício e que se mantém constante para ambas as estações;

- Ganhos solares: no RCCTE são assumidos valores genéricos relativamente à radiação incidente, contrariamente ao *Energy Plus* cuja análise varia com a intensidade e incidência da radiação solar;

- Ventilação: pelo RCCTE é adoptado um valor constante de taxa de renovação horária, em função da classe de caixilharia, existência ou não de estores e dispositivos de admissão na fachada e da classe de exposição ao vento das fachadas do edifício.

Com *Energy Plus* é possível variar a taxa de renovação de ar.

4.5 Comandos de Entrada de Valores do *Energy Plus*

Seguidamente, serão descritos, de uma forma sumária, os campos do *Energy Plus* utilizados na elaboração do presente trabalho. Cada campo engloba um conjunto de comandos, como se pode observar na Figura 18. A sua denominação é inglesa mas

será apresentada a respectiva tradução. Para um conhecimento mais aprofundado do programa, sugere-se a consulta do respectivo manual do software [3].

De salientar que na descrição efectuada serão realçadas todas as opções tomadas na modelação do caso em estudo, remetendo-se para o capítulo seguinte alguns pormenores referentes à elaboração do modelo introduzido no programa. Poderia ter sido feita uma apresentação do programa ao nível dos algoritmos, pressupostos e rotinas de cálculo, no entanto, achou-se mais interessante apresentar os comandos necessários para proceder à modelação de um edifício, na medida em que, uma pessoa sem formação no *Energy Plus* ao seguir os comandos apresentados consegue estar habilitada para fazer uma modelação.

▪ ***Simulation Parameters*** (Parâmetros de simulação)

Neste campo o utilizador introduz o número da versão de software que está a utilizar (neste caso, 3.1), estabelece o controlo da simulação, define a edificação, o período de cálculo do movimento solar, o algoritmo de convecção interior e exterior, o algoritmo de transferência de calor pela envolvente, o factor multiplicativo do volume de ar nas zonas (sempre igual a 1.0) e define o *time-step* (intervalo de tempo da simulação) (Figura 18).

Para o controlo de simulação optou-se apenas pela simulação do ficheiro climático. No comando edificação (*Building*) atribuiu-se um nome ao caso em estudo (moradia), introduziu-se o ângulo do edifício em relação ao Norte (0° para o edifício em estudo), a zona de implantação (cidade), as tolerâncias de convergência quer de temperaturas quer de cargas, a distribuição solar, o número máximo de dias de teste para verificação das respectivas convergências (25) e a distribuição solar. Neste último ponto, optou-se por uma distribuição apenas exterior (*FullExterior*⁴) por razões de geometria.

Para o cálculo do movimento solar, cujo objectivo passa pela determinação da variação das sombras no edifício, optou-se por um intervalo de 20 dias considerando assim as mudanças significativas da posição solar, em detrimento de uma variação

⁴ Toda a radiação transmitida para o interior da zona é apenas absorvida pelo piso, de acordo com a sua absorção solar.

diária das sombras que aumentaria significativamente o tempo dispendido em cada simulação, cujos cálculos teriam de ser efectuados para todos os dias do ano.

A escolha do algoritmo de convecção interior e exterior incidiu sobre o modelo detalhado, tendo-se optado para o algoritmo de transferência de calor pela envolvente, pelo algoritmo de condução (*ConductionTransferFunction*), uma vez que o se pretende apenas considerar, para efeitos de simulação, a ocorrência de fenómenos de transmissão de calor por condução, desprezando o armazenamento de humidade nos elementos construtivos.

No que diz respeito ao intervalo de tempo (*TimeStep*), os períodos temporais terão de ser inferiores a uma hora, permitindo obter resultados detalhados ao longo de um dia. O *Energy Plus* apenas aceita valores divisíveis por 60, tendo-se optado para o presente estudo por resultados de 15 em 15 minutos, pelo que o *time-step* toma o valor de 4.

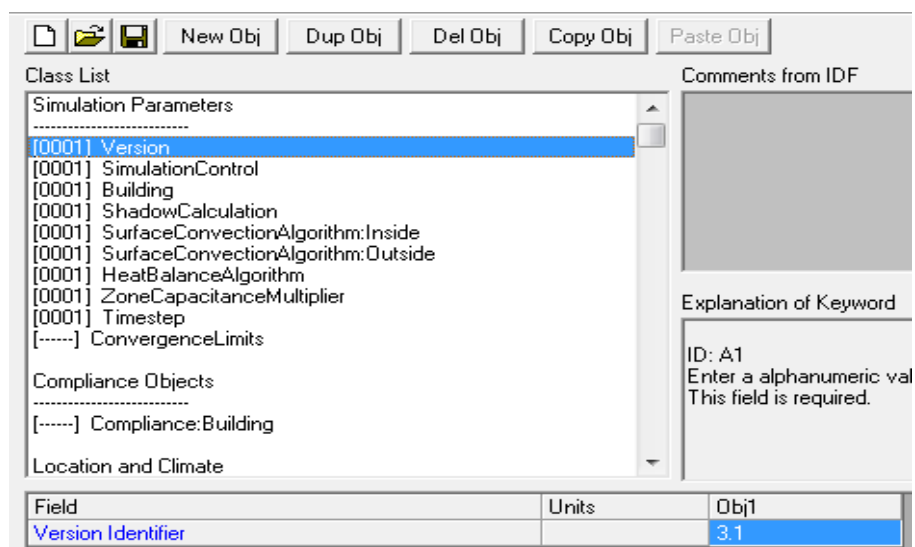


Figura 18: Arquivo de entrada do campo *Simulation Parameters*

▪ **Location and Climate** (Localização e Clima)

Neste campo são introduzidos dados referentes à localização do edifício, nomeadamente, latitude, longitude, entre outros. No entanto, como se optou pela utilização dos ficheiros climáticos, o preenchimento da totalidade dos comandos deste campo torna-se desnecessário, uma vez que o programa sobrepõe os dados dos ficheiros, relativamente aos indicados pelo utilizador.

Foi então necessário definir unicamente dois comandos: o período de simulação (*RunPeriod*) - Figura 19 - e as temperaturas do solo (*Site:GroundTemperature:BuildingSurface*).

No período de simulação são introduzidos o dia e o mês de início e fim de simulação, bem como o número de anos ao longo dos quais se pretende que este se realize. Para a análise do caso de estudo, foram definidos dois períodos distintos, correspondentes às estações de Aquecimento (Inverno) e Arrefecimento (Verão), tendo em conta as durações definidas pelo actual RCCTE e sendo sempre a sua duração de apenas 1 ano.

Uma vez que a moradia se encontra em contacto com o terreno foi então necessário obter as temperaturas deste, consoante o local de implantação. Com recurso ao ficheiro climático, através do ícone *Utilities* presente no EP-Launch, selecciona-se a opção *slab* e corre-se o programa. Concluído este processo, o utilizador sai do programa e posteriormente acede aos ficheiros gerados em formato GTP de onde se retiram as temperaturas médias do terreno.

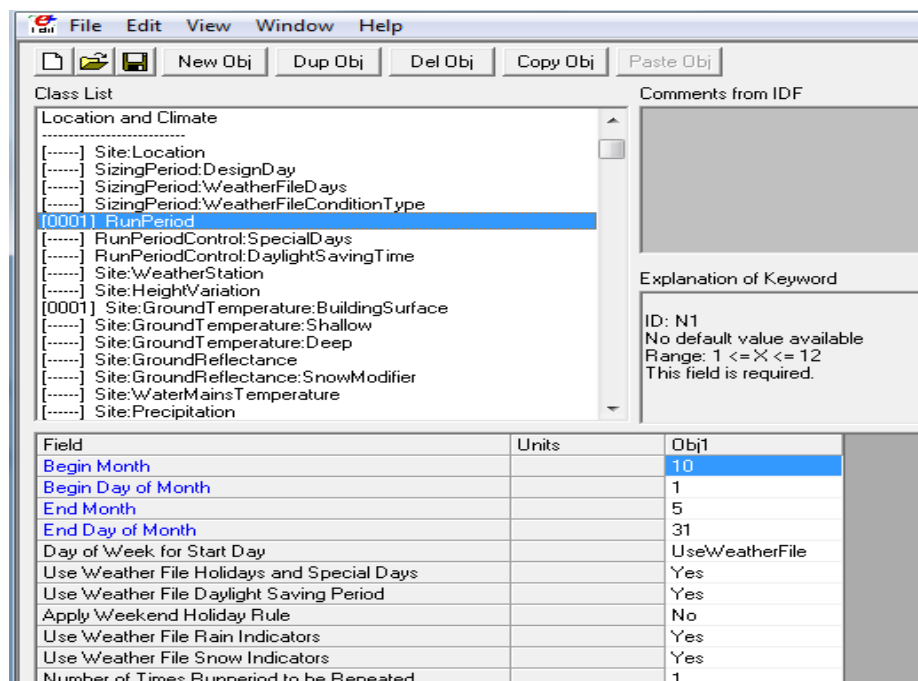


Figura 19: Definição do período de simulação

- ***Schedules*** (Horários)

Neste campo determina-se o grau de utilização e operação do edifício, sendo definido o funcionamento dos equipamentos, iluminação e as temperaturas de controlo nas zonas térmicas por um determinado período de tempo, neste caso considerou-se que os *schedules* funcionavam todo o ano.

Os *Schedules* definidos estabelecem ligação com outros campos do programa, de modo a criar condições que se aproximem da realidade do edifício. Neste trabalho optou-se por utilizar o campo *Schedule:Compact* uma vez que deste modo é possível aceder a todos os *Schedules* num único comando, facilitando a introdução dos dados e posteriores consultas dos mesmos. No entanto, para o ideal funcionamento deste comando, é necessário definir uma ligação com o comando *ScheduleTypeLimits*, onde se define os limites mínimos e máximos dos valores existentes no *Schedule:Compact* e o tipo de variáveis, discretas ou contínuas.

- ***Surface Construction Elements*** (Materiais e Elementos da Envolvente)

Neste campo serão inseridos os materiais que compõem as diferentes soluções construtivas adoptadas para o edifício em estudo, a caixa-de-ar para o caso da solução parede dupla, os tipos de vidro e o respectivo espaço de ar (vidros duplos), assim como a protecção solar dos vãos envidraçados.

Os materiais regulares e as suas respectivas características, como grau de rugosidade, espessura, condutibilidade térmica (valores retirados do ITE 50 [2]), densidade calor específico e as absorções térmica, solar e visível, são introduzidos no comando *Materials*. A caixa-de-ar das paredes duplas é introduzida no comando *Material:AirGap* e o seu valor de resistência térmica é retirado de [2]. O comando *WindowMaterial:Glazing* diz respeito ao vidro e respectivas propriedades, cuja informação poderá ser obtida através da base de dados que o programa disponibiliza. *WindowMaterial:Gas* é o comando onde se introduz o espaço de ar relativo ao vidro duplo. A protecção dos vãos envidraçados é tida em conta no comando *WindowMaterial:Shade* e neste caso optou-se pela introdução de estores.

No final, é então preenchido o comando *Construction* onde se define as diferentes soluções construtivas (paredes exteriores, paredes interiores,

pavimentos, cobertura) através da combinação dos materiais introduzidos (Figura 20). Estes materiais são obrigatoriamente colocados do exterior para o interior.

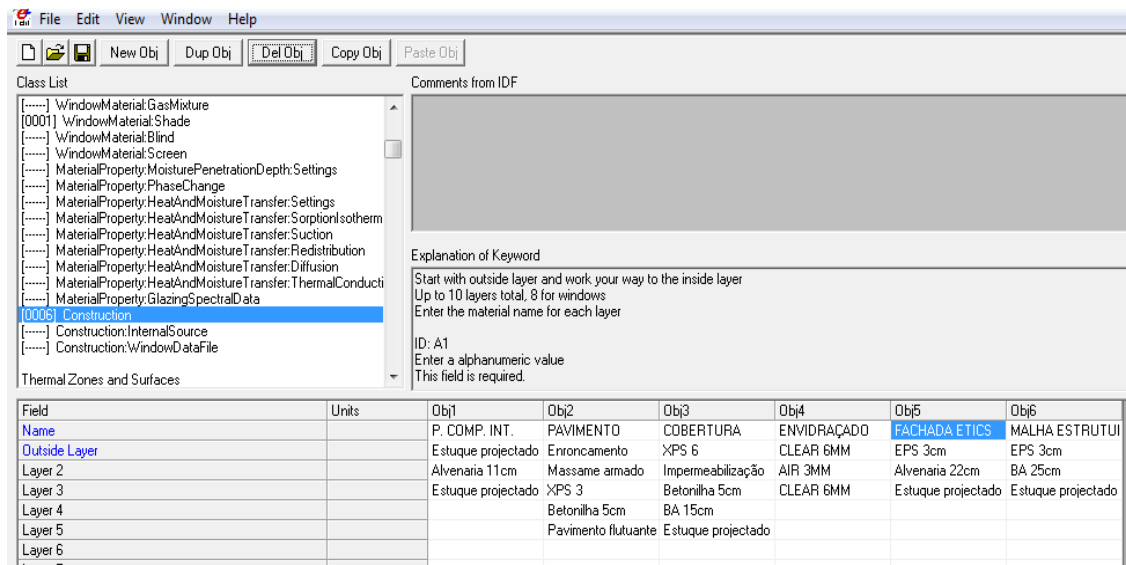


Figura 20: Definição das soluções construtivas no comando *Construction*

▪ ***Thermal Zones and Surfaces/ Geometry*** (Zonas Térmicas e Geometria)

Por zona térmica entende-se o conjunto de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico. No caso em estudo, a moradia corresponde a uma única zona térmica, que foi definida no comando *Zone*. Para tal, foi necessário introduzir as coordenadas de origem, a altura do tecto e o volume interior.

Para efectuar a modelação do edifício é necessário definir previamente o critério a adoptar para a leitura das coordenadas cartesianas, por parte do *Energy Plus*. Assim, para ponto inicial de inserção de dados, foi definido o canto inferior esquerdo de cada superfície, sendo os vértices seguintes definidos de acordo com o sentido contrário aos ponteiros do relógio e o referencial utilizado será relativo a cada zona. De salientar que a visualização dos elementos para determinação das respectivas coordenadas é feita tendo em conta que o observador se encontra no exterior do elemento a definir (Figura 21).

Após a definição dos parâmetros anteriores, procede-se então à inserção dos elementos da envolvente, indicando o tipo de superfície (parede, pavimento, cobertura, tecto), a solução construtiva, a zona térmica onde se insere, as condições

adjacentes (terreno, interior, exterior ou outras), bem como a sua exposição ao sol e ao vento.

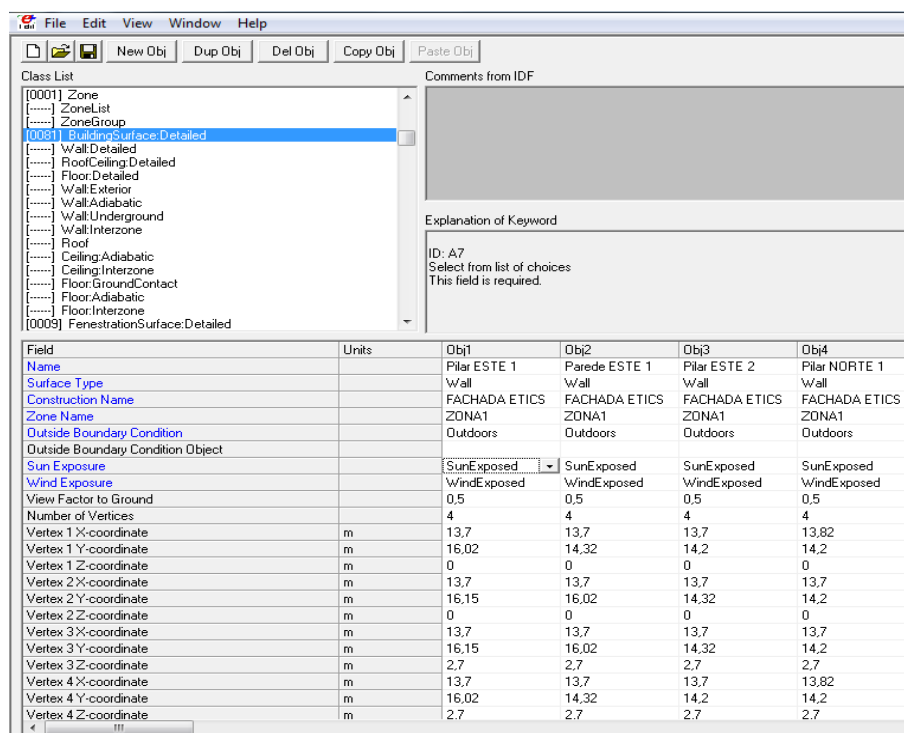


Figura 21: Definição da geometria dos elementos no comando *BuildingSurface:Detailed*

O passo seguinte passa pela inserção de subsuperfícies⁵ nos elementos da envolvente, como é o caso das portas e janelas. Para tal, através do comando *FenestrationSurface:Detailed*, introduzem-se as coordenadas cartesianas de cada subsuperfície e, entre outros aspectos, indica-se a superfície onde a janela/porta se insere, o controlo de sombreamento e a caixilharia.

É também neste campo que se definem as propriedades das caixilharias (*WindowProperty:FrameAndDivider*, a actividade dos estores (*WindowProperty:ShadingControl*) e os sombreamentos imóveis, tais como palas (*Shading:Zone:Detailed*).

A massa referente às paredes interiores é introduzida no comando *InternalMass*, colocando o respectivo nome definido no *Construction*, a zona térmica correspondente e a respectiva área exposta na mesma.

Importa ainda referir, que todo este processo de definição dos elementos da envolvente e de todas as subsuperfícies é, um processo lento cuja conclusão implica

⁵ Qualquer elemento de outro material colocado numa superfície.

a realização de várias simulações, para detecção de possíveis erros, sempre susceptíveis de ocorrer quando se insere um grande volume de dados e, nos quais, o nível de pormenor a ter em atenção é elevado e determinante. Com todos os dados inseridos e verificando-se que o programa não reporta quaisquer tipos de erros é possível visualizar a modelação em 3D através do ficheiro CAD, presente na pasta dos arquivos de saída, como já tinha sido anteriormente referido.

- ***Internal Gains*** (Ganhos internos)

Com o *Energy Plus* é possível contabilizar os ganhos internos como resultado de várias fontes, como sejam, a iluminação, os equipamentos e a ocupação humana. Para a determinação destes ganhos internos foi necessário definir *Schedules* que serão utilizados neste campo.

Os ganhos proporcionados pela ocupação humana devem-se essencialmente à energia consumida para elaboração, ao longo do dia, das mais variadas tarefas. Foi então definido um *Schedule* que reflectisse a presença dos ocupantes na habitação e o metabolismo das suas actividades, valores que podem ser obtidos através da base de dados do programa. Para a iluminação e equipamentos foi atribuído um valor de consumo médio em Watt por metro quadrado e através dos *Schedules* foi definida a percentagem de funcionamento ao longo dos dias.

- ***Zone Air Flow*** (Renovação de ar)

Neste campo é contabilizada a quantidade de ar, proveniente do exterior, que se infiltra directamente no interior de cada zona térmica (Figura 22).

Para a realização da presente dissertação, o modelo de ar utilizado consiste apenas na infiltração de ar que ocorre de forma natural no edifício. Para tal preencheu-se o comando *ZoneInfiltration:DesignFlowRate* e utilizou-se a mesma taxa de renovação horária, assumida aquando da análise pelo RCCTE. Foi necessário criar um *Schedule* referente à infiltração, onde se assumiu que esta ocorreria em todas as horas ao longo do ano.

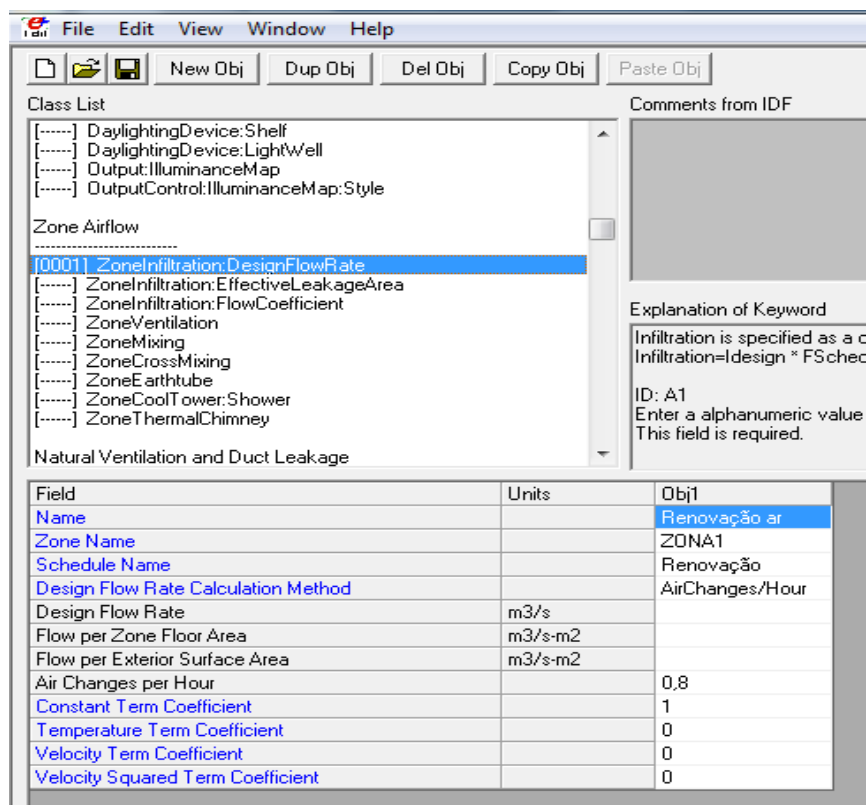


Figura 22: Definição da taxa de renovação horária no Energy Plus

▪ **Zone HVAC Controls and Thermostats** (Controlo de Aquecimento e Arrefecimento)

Neste campo do *Energy Plus* define-se, para cada zona térmica, o controlo térmico pretendido, isto é, os valores de temperatura que se pretende que o edifício assuma ao longo do ano. As temperaturas consideradas na análise do comportamento térmico do caso em estudo foram de 20°C para a estação de Aquecimento e de 25°C para a estação de Arrefecimento. Para a situação de Inverno, o programa apenas aquece as zonas quando a temperatura baixa o valor estabelecido ao passo que, no Verão, apenas arrefece quando a temperatura é superior ao valor fixado, sendo que, é possível haver alternância entre as duas situações. Este controlo de temperatura exige a actuação de equipamentos (inseridos nos campos a seguir descritos) e a definição de limites mínimos e máximos das temperaturas, com recurso a *Schedules*.

- **Zone HVAC Forced Air Units** (Unidades de ar forçado)

Para definição dos parâmetros correspondentes aos equipamentos utilizados para aquecimento e arrefecimento, foi utilizado o comando *ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem*. Estes equipamentos são virtuais, isto é, são sistemas 100% eficientes, sem ganhos internos e que permitem manter a temperatura no intervalo estipulado, adicionando ou retirando carga térmica, de acordo com as necessidades do edifício. De salientar que foi considerada a opção *NoOutdoorAir* por forma a que o funcionamento dos equipamentos não afectem a taxa de renovação de ar e esta seja exclusivamente de forma natural.

- **Zone HVAC Equipment Connections** (Conexão entre equipamentos)

Este campo é constituído apenas por dois comandos e está directamente relacionado com o campo anterior, dado que será aqui que são definidos os equipamentos fictícios presentes nas zonas que se pretende obter conforto térmico. No comando *ZoneHVAC:EquipmentList* foram então definidos os equipamentos e estabelecida uma ligação com as suas respectivas propriedades estabelecidas no campo *Zone HVAC Forced Air Units*. No comando *ZoneHVAC:EquipmentConnections* foram criados os nós de entrada e saída de ar de modo a construir um ciclo na zona HVAC.

- **Report** (Relatório da Simulação)

O *Report* permite seleccionar todas as variáveis cujos resultados se pretendem analisar. O *Energy Plus* disponibiliza uma enorme variedade de variáveis e apresenta as mesmas num arquivo de saída, para cada simulação realizada.

A solicitação das variáveis pretendidas é feita no comando *Output:Variable*, no qual se define também a frequência de obtenção dos valores (Figura 23). Uma descrição detalhada dos resultados obtidos será apresentada no capítulo seguinte, onde se expõe a metodologia adoptada para a recolha de dados do programa.

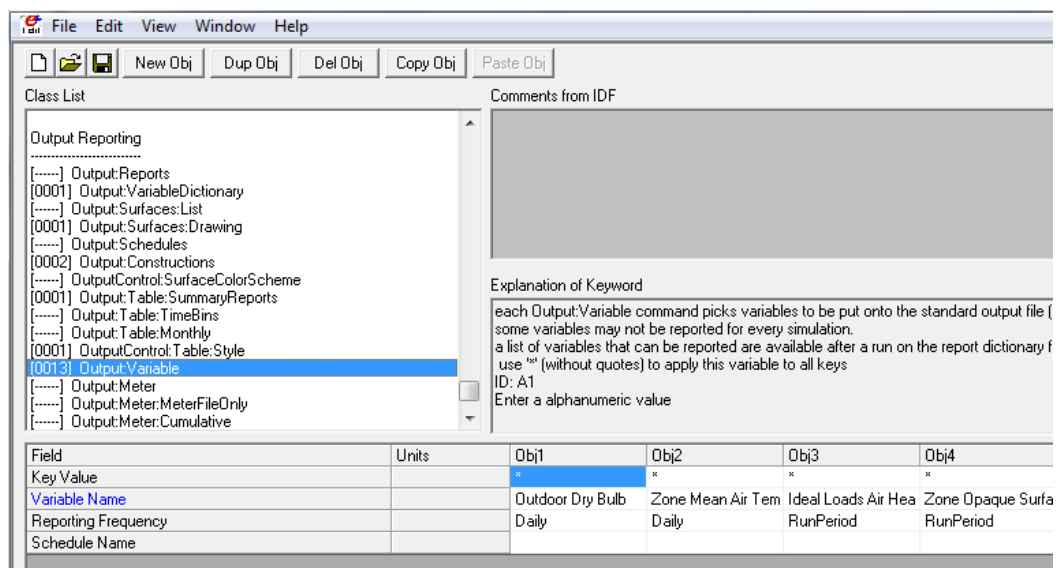


Figura 23: Solicitação das variáveis no *Energy Plus*

CAPÍTULO 5- O CASO DE ESTUDO. METODOLOGIA DO TRABALHO

5.1 Introdução

Neste capítulo, primeiramente será feita a apresentação do caso de estudo e numa segunda parte, a descrição da metodologia adoptada para recolha e interpretação dos resultados obtidos através do *Energy Plus*, embora no capítulo anterior já tenham sido referidas algumas das opções tomadas tanto na modelação com *Energy Plus*, como na aplicação do RCCTE.

Apresenta-se também a metodologia utilizada para definição do modelo de cálculo dinâmico com recurso ao RCCTE, de modo a ser possível efectuar uma comparação entre os resultados obtidos através dos dois métodos. Esta comparação é exposta na última parte do presente capítulo e feita unicamente para uma solução construtiva do sistema ETICS, sendo que os restantes resultados analisados se baseiam exclusivamente no software utilizado.

5.2 Apresentação do Caso de Estudo

O caso de estudo abordado nesta dissertação refere-se a um edifício de habitação unifamiliar, de tipologia V3 e com uma área útil de pavimento de 145.3 m².

Na

Figura 24 apresenta-se a planta da moradia e da Figura 25 à Figura 28 são apresentados os alçados. A moradia é constituída unicamente por um piso térreo e as áreas úteis das diferentes dependências encontram-se no Quadro 8. Como já foi referido anteriormente, a escolha de edifício de habitação unifamiliar prende-se com o facto de usualmente os estudos realizados com simulações recorrerem a células de teste (cubos), de já terem sido realizados vários estudos relativamente a edifícios multifamiliares e, como é de conhecimento geral, com as maiores exigências em termos energéticos apresentadas por uma moradia.

A escolha do projecto em si prende-se com o facto de a moradia apresentar uma geometria simples e tendo em conta que a introdução desta no *Energy Plus* é feita através de coordenadas, foi uma forma de simplificar este procedimento.

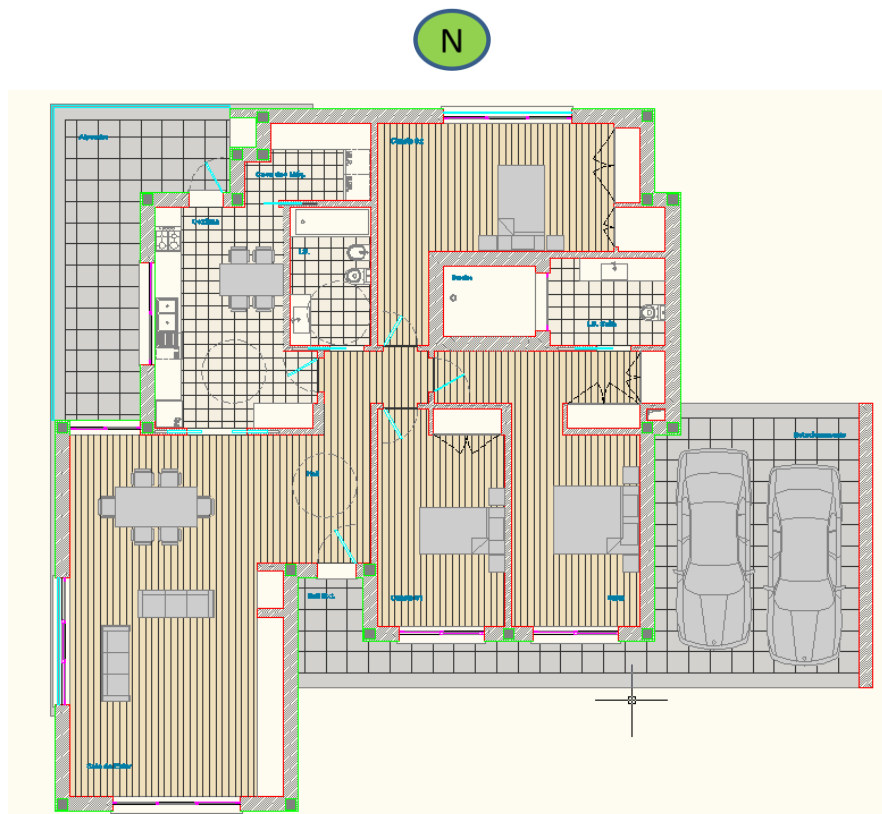


Figura 24: Planta da moradia em estudo

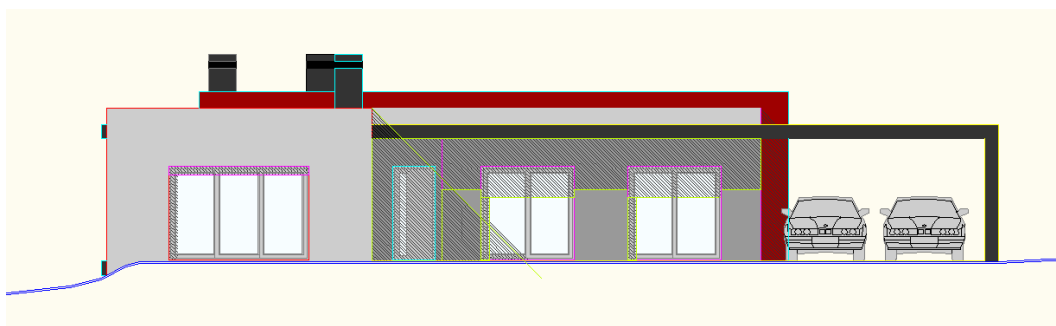


Figura 25: Alçado Sul

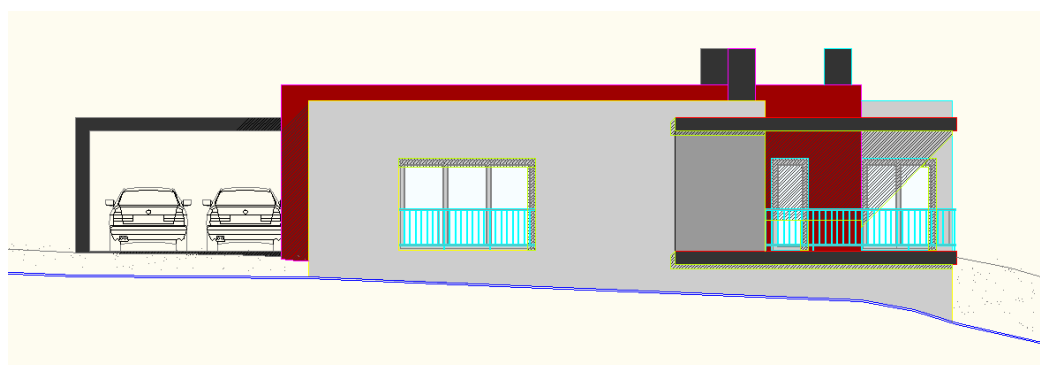


Figura 26: Alçado Norte

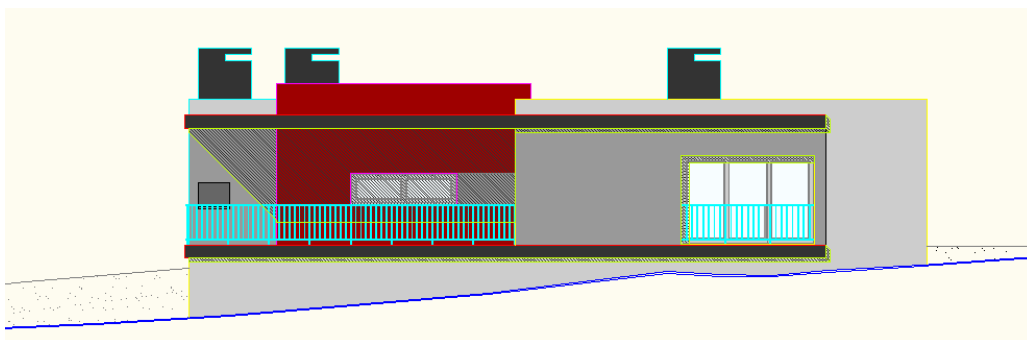


Figura 27: Alçado Oeste

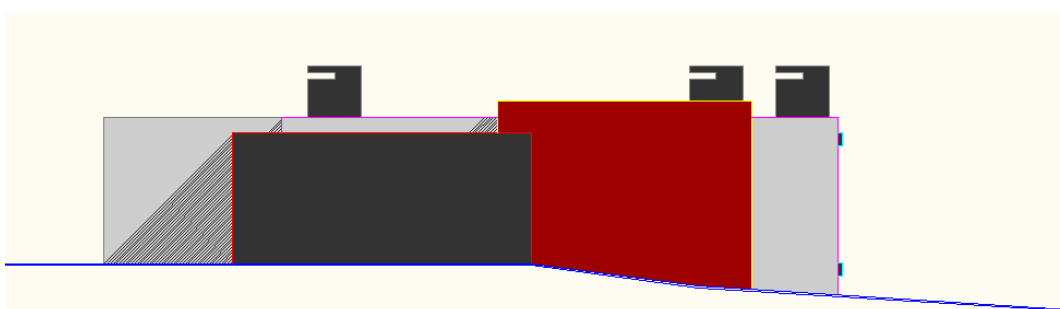


Figura 28: Alçado Este

Quadro 8: Dependências da casa e respectivas áreas úteis

DEPENDÊNCIA	ÁREA ÚTIL (m ²)
Hall	9.90
Sala de estar	42.50
Cozinha	17.00
Casa das máquinas	4.75
Instalação sanitária	6.15
Quarto 01	15.20
Quarto 02	21.00
Suite	20.50
Instalação sanitária suite	8.30

Estruturalmente, a moradia em estudo será concebida em betão armado, com uma malha estrutural composta por pilares e laje aligeirada.

As soluções construtivas que compõem as fachadas vão variar entre o sistema ETICS com diferentes espessuras de isolante térmico (Figura 29) – apresentado portanto um coeficiente de transmissão térmica variável - e entre uma solução construtiva composta por parede dupla.

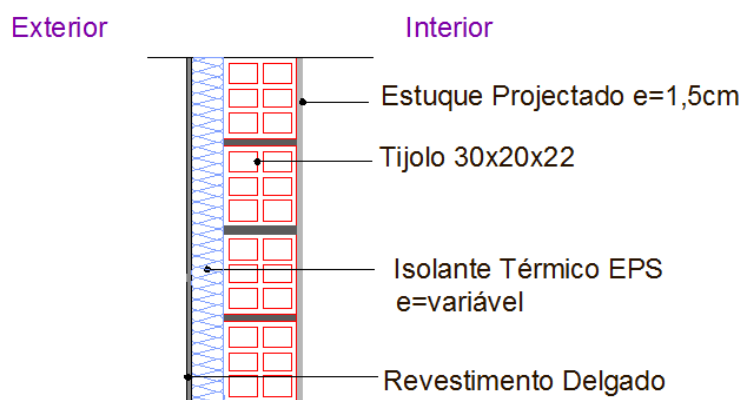


Figura 29: Pormenor construtivo do sistema ETICS em zona corrente

No caso da cobertura, será plana invertida (isolante térmico sobre impermeabilização) e de acesso limitado. Será composta pelo revestimento interior (tecto), laje aligeirada de betão armado, camada de regularização que define a pendente para as águas pluviais, impermeabilização, o isolante térmico e por fim, seixo rolado (Figura 30).

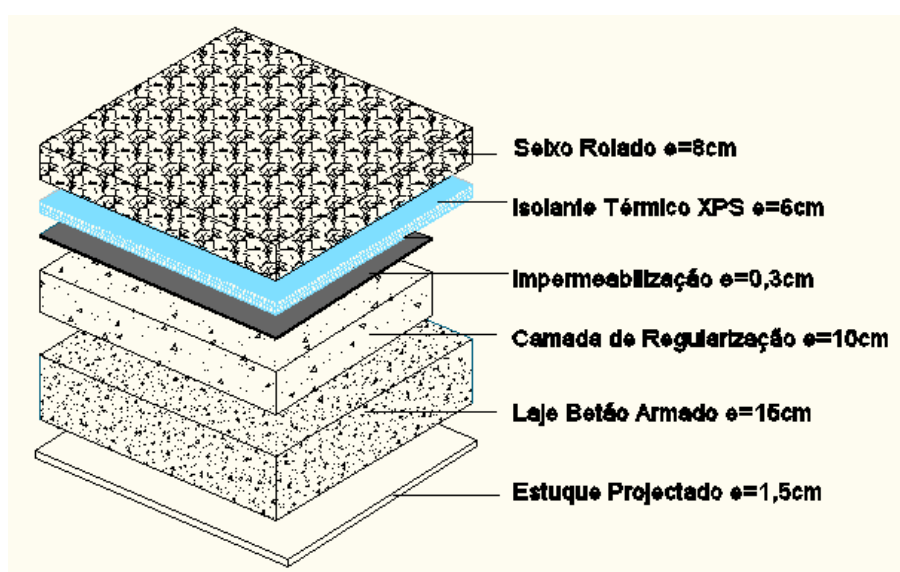


Figura 30: Pormenor construtivo da cobertura

O pavimento terá a particularidade de ser isolado na totalidade, sendo a espessura de isolante térmico aplicada de acordo com a adoptada para a envolvente exterior, isto é, quando as fachadas são constituídas por uma espessura de isolante de 4cm significa que o pavimento térreo terá também na sua constituição, isolante térmico com a mesma espessura. Da solução construtiva do pavimento térreo, fazem parte: camada de enrocamento, massame armado, o isolante térmico, betonilha de regularização e como revestimento de piso, adoptou-se o pavimento flutuante (Figura 31) e para as zonas húmidas (instalações sanitárias e cozinha), revestimento cerâmico.

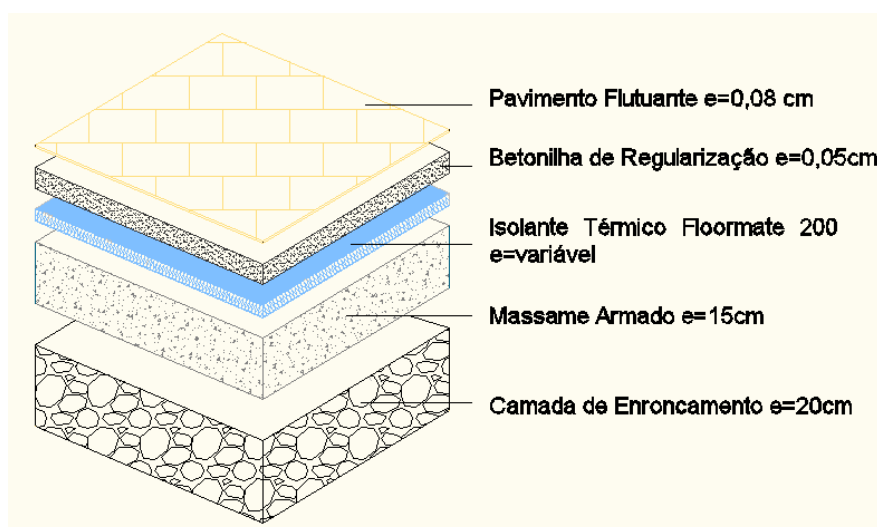


Figura 31: Pormenor construtivo do pavimento térreo

É importante salientar que o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica de cada solução construtiva é apresentado no anexo I.

Relativamente ao revestimento interior das paredes e do tecto serão estucados e pintados com tinta de água de cor branca, à excepção da cozinha e instalações sanitárias, onde as paredes interiores serão revestidas com azulejos cerâmicos.

Uma imposição arquitectónica com relevância no comportamento térmico do edifício e que obviamente interessa referir, prende-se com o sistema de protecção dos vãos envidraçados, tendo-se optado pela solução mais corrente, ou seja, a instalação de estores exteriores.

5.3 Metodologia utilizada para comparação dos modelos

De modo a comparar os resultados obtidos através do *Energy Plus* com os obtidos pelo RCCTE é necessário efectuar uma comparação do modelo base (basicamente constitui o “ponto de partida” para a realização das diversas simulações), feita de acordo com o regulamento da térmica. Esta comparação não é obrigatória dada a validade das duas metodologias, no entanto, é feita por dois motivos: só a análise face ao RCCTE está em vigor em Portugal e, para a análise dinâmica, dado o grande número de variáveis de valor igual é possível minimizar eventuais erros que possam surgir ao longo do trabalho e ter uma maior percepção da validade do modelo definido no software, tendo então por base os pressupostos do regulamento.

É importante referir que a comparação dos dois modelos – o dinâmico e o estático – exige a consideração dos mesmos dados climáticos, nomeadamente, temperaturas exteriores e radiação solar. Neste ponto existe uma grande diferença entre os dois métodos: no caso do *Energy Plus*, os dados de temperatura e radiação solar são fornecidos numa base horária através de ficheiros próprios, estabelecidos para cada localização climática [10]. No caso do RCCTE, como é um método simplificado, vocacionado para avaliar comportamentos médios e não instantâneos, a informação climática fornecida é bastante mais sintética e traduz-se, de uma forma resumida, nos seguintes parâmetros:

- Graus – Dias de aquecimento, para o Inverno;
- Energia solar média (numa base mensal para o Inverno);
- Temperatura média para a estação de arrefecimento.

Deste modo, não existe correspondência entre os ficheiros de dados climáticos do *Energy Plus* e os dados sintéticos do RCCTE, pelo que serão admissíveis as diferenças nos resultados obtidos entre os dois métodos.

Neste ponto da dissertação serão então descritas todas as opções e pressupostos assumidos para obtenção do modelo de simulação com base nos dados do RCCTE. De salientar que, não é objectivo do trabalho, obter resultados idênticos entre o *Energy Plus* e o RCCTE, até porque, em linha com o descrito acima, estes utilizam diferentes dados e variáveis. Procura-se sim, a obtenção através do *Energy*

Plus de valores coerentes, cujas diferenças relativamente aos do regulamento possam ser justificadas com base nos pressupostos adoptados para cada um dos métodos.

5.3.1. Pressupostos para elaboração do modelo de Inverno

Para elaboração do modelo de simulação referente à estação de Inverno foi necessário adoptar alguns pressupostos, que serão abordados neste ponto do trabalho.

Segundo o RCCTE, a duração da estação de aquecimento varia de concelho para concelho. Para a cidade de Bragança o Inverno assume uma duração de 8 meses, pelo que, no *Energy Plus* foi considerado que esta estação compreende todos os dias entre 1 de Outubro e 31 de Maio. Já para a cidade de Lisboa, o regulamento estabelece 5,3 meses como duração da estação de aquecimento, tendo sido então considerado no *Energy Plus* os dias compreendidos entre 1 de Novembro e 17 de Abril.

No que respeita aos ganhos internos médios, o RCCTE define para os edifícios residenciais o valor de 4 W/m^2 , sendo que, no *Energy Plus*, como já foi anteriormente referido, embora haja a possibilidade de determinar este valor consoante os hábitos dos ocupantes ao longo do ano optou-se por se considerar um valor próximo do definido no regulamento.

Quanto à taxa de renovação de ar, o valor introduzido no *Energy Plus* foi o determinado através do RCCTE, consoante a classe de exposição do edifício, a presença de dispositivos de admissão de ar na fachada e a classe da caixilharia.

Para controlo dos dispositivos móveis de protecção dos envidraçados (estores), no software considerou-se que, durante a noite, os dispositivos estão activos se a temperatura exterior for inferior a 20°C , e desactivados durante o dia (este tipo de controlo é possível através de dispositivos de controlo de temperatura introduzidos nos estores). Este valor de temperatura, como foi mencionado na secção 4.5 desta dissertação, tem a ver com o valor definido pelo RCCTE como temperatura de conforto de referência.

Convém mais uma vez salientar que não é objectivo deste trabalho obter valores idênticos entre o software e o regulamento mas sim, analisar a diferença dos resultados obtidos entre os dois métodos.

5.3.2. Pressupostos para Elaboração do Modelo de Verão

A duração da estação de arrefecimento, ao contrário do que sucede com a estação de aquecimento que é variável, apresenta uma duração fixa para todos os concelhos, que compreende o período entre o dia 1 de Junho até ao dia 30 de Setembro, de acordo com o estabelecido nas definições do RCCTE [23].

A definição dos ganhos internos e da taxa de renovação de ar é idêntica à situação de Inverno, sendo portanto, constantes.

No que diz respeito aos dispositivos de sombreamento móveis, segundo a regulamentação, para a estação de arrefecimento, assume-se que estão activados a 70%. No entanto, no *Energy Plus*, admitiu-se que os dispositivos são accionados durante a noite e o dia quando a temperatura exterior exceder os 25°C. À semelhança do Inverno, este valor é definido no RCCTE como temperatura interior de referência.

Para a estação de arrefecimento, o regulamento não tem em conta os ganhos térmicos pela envolvente, ao passo que, o *Energy Plus* contabiliza estes ganhos.

5.3.3. Variáveis solicitadas ao programa *Energy Plus*

Para ter noção da influência da envolvente exterior dos edifícios no seu comportamento térmico é essencial proceder a uma recolha de todos os dados inerentes às trocas de energia que ocorrem através dos elementos que delimitam o interior do exterior do edifício em estudo. Para tal, através do comando *Output:Variable* foram solicitadas as seguintes variáveis:

- 1) *Zone Window Heat Gain Energy*
- 2) *Zone Window Heat Loss Energy*
- 3) *Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Gain Energy*

- 4) *Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Loss Energy*
- 5) *Zone Infiltration Total Heat Gain*
- 6) *Zone Infiltration Total Heat Loss*
- 7) *Ideal Loads Air Total Cooling Energy*
- 8) *Ideal Loads Air Heating Energy*

As variáveis de 1) a 4) dizem respeito aos ganhos e perdas através dos envidraçados e da envolvente opaca, respectivamente. Como já foi descrito anteriormente considerou-se também a infiltração (5 e 6) e a quantidade de energia necessária para arrefecer/aquecer o edifício de modo a assegurar a temperatura interior de conforto pretendida. Adicionalmente às variáveis acima enumeradas, foram também solicitadas ao programa as correspondentes aos ganhos internos (iluminação, equipamentos e habitantes) e ainda as variáveis *Outdoor dry Bulb* e *Mean Air Temperature*, respectivamente temperatura exterior e temperatura interior da zona térmica. Todas as variáveis referidas foram solicitadas ao programa para todos os elementos e/ou zonas térmicas inseridas no modelo para o período de simulação definido, à excepção das temperaturas exterior e interior que foram obtidas para um dia extremo de inverno e um dia típico de verão.

Terminadas as simulações, o programa cria uma pasta com os vários ficheiros de saída, entre os quais se encontra um ficheiro que pode ser consultado através de uma folha de cálculo. É então a partir deste ficheiro que são organizados os resultados obtidos facilitando a sua análise.

5.4 Análise dos resultados obtidos - Análise estática face à análise dinâmica

Face ao exposto nos pontos anteriores do presente capítulo, nesta secção são apresentados os resultados obtidos pelo RCCTE e pelo *Energy Plus*. Para tal, considera-se o edifício em estudo localizado na cidade de Lisboa e o sistema ETICS composto por 3 cm de EPS, como solução construtiva das fachadas. Os restantes elementos (pavimento, cobertura) são de acordo com o definido no ponto 5.2 do presente capítulo.

Lisboa está classificada como zona climática I1. Primeiramente serão apresentados os resultados obtidos para a estação de Inverno e posteriormente para a estação de Verão.

▪ **Inverno**

Para a estação de aquecimento, os dados obtidos para as duas metodologias, RCCTE e *Energy Plus* são os que se apresentam na Figura 32.

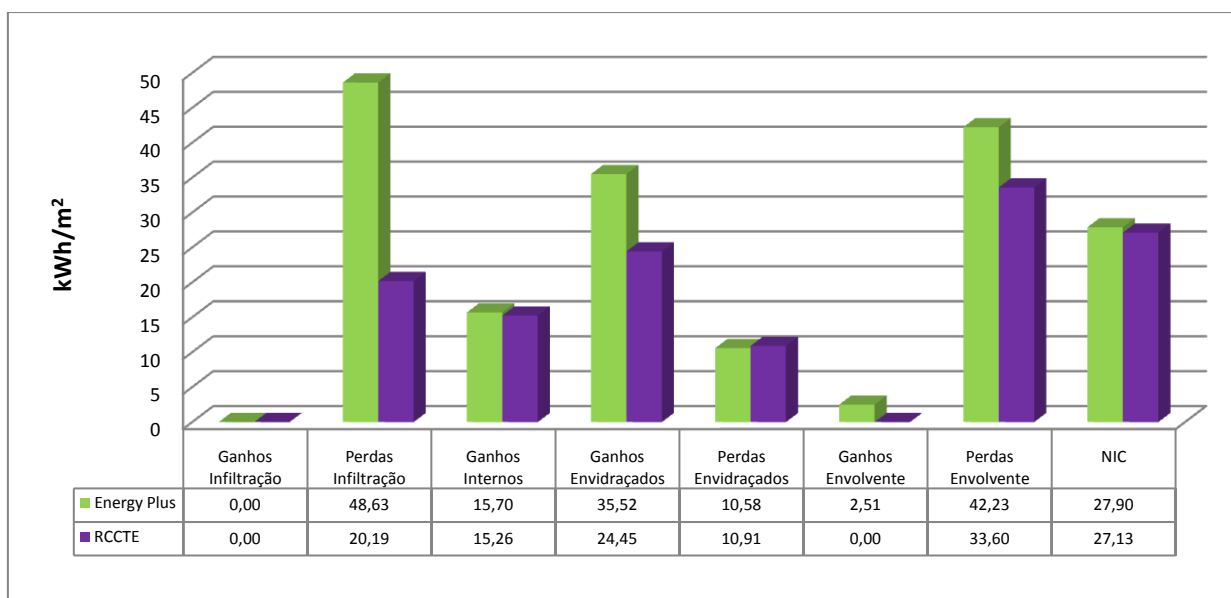


Figura 32: Resultados obtidos através do *Energy Plus* e do RCCTE para a cidade de Lisboa com ETICS 3cm de EPS

Analisando os resultados obtidos para a estação de aquecimento, as necessidades energéticas resultantes do *Energy Plus* são relativamente próximas das obtidas pelo RCCTE, apresentando uma diferença de aproximadamente 1kWh/m². Verifica-se uma grande diferença nos valores das perdas por infiltração (28.43 kWh/m²), pese embora a taxa de renovação de ar utilizada nos dois métodos tenha sido a mesma, o método de cálculo do RCCTE é muito diferente do *Energy Plus*, sendo que este considera uma área útil maior, uma vez que a geometria é definida pelas linhas médias, ao passo que no RCCTE é medida pelo interior.

Os valores dos ganhos internos são relativamente próximos, no entanto não são valores exactos, uma vez que foram definidos tendo em conta o valor médio por unidade de área útil de pavimento recomendado no regulamento. No que diz respeito

aos ganhos pelos envidraçados, o valor obtido com recurso ao software difere superiormente em cerca de 11.07 kWh/m^2 , que poderá ser justificado pelos dados relativos às propriedades dos envidraçados. No RCCTE, o valor de condutibilidade térmica utilizado foi retirado do ITE 50 [10], ao passo que, o *Energy Plus*, para além das propriedades do vidro, também tem em conta as dimensões e condutância da caixilharia definida, bem como outras propriedades que permitem uma caracterização térmica dos elementos mais próxima da real. Deste modo, um menor rigor ou uma maior simplificação por parte do regulamento para a caracterização dos vãos envidraçados pode então reflectir-se na diferença de valores apresentada relativamente ao software utilizado.

Quanto às perdas pela envolvente exterior, o valor obtido no *Energy Plus* é superior ao do RCCTE, 8.63 kWh/m^2 , no entanto, esta diferença é minimizada pelo facto do regulamento não considerar os ganhos pela envolvente durante a estação de aquecimento.

De uma forma geral, as diferenças obtidas entre os dois métodos devem-se essencialmente às diferentes abordagens de cálculo adoptadas e aos dados climáticos associados, como foi exposto na secção 5.3 do presente capítulo. E como foi anteriormente referido numa fase inicial do presente trabalho, enquanto o *Energy Plus* elabora uma análise dinâmica, determinando as trocas de calor em cada instante da simulação, o RCCTE considera um cenário estático, em que as trocas de calor são determinadas em regime permanente para as duas estações de referência, Verão e Inverno.

▪ **Verão**

Para a estação de arrefecimento, os dados obtidos para as duas metodologias, RCCTE e *Energy Plus* são os que se apresentam na Figura 33.

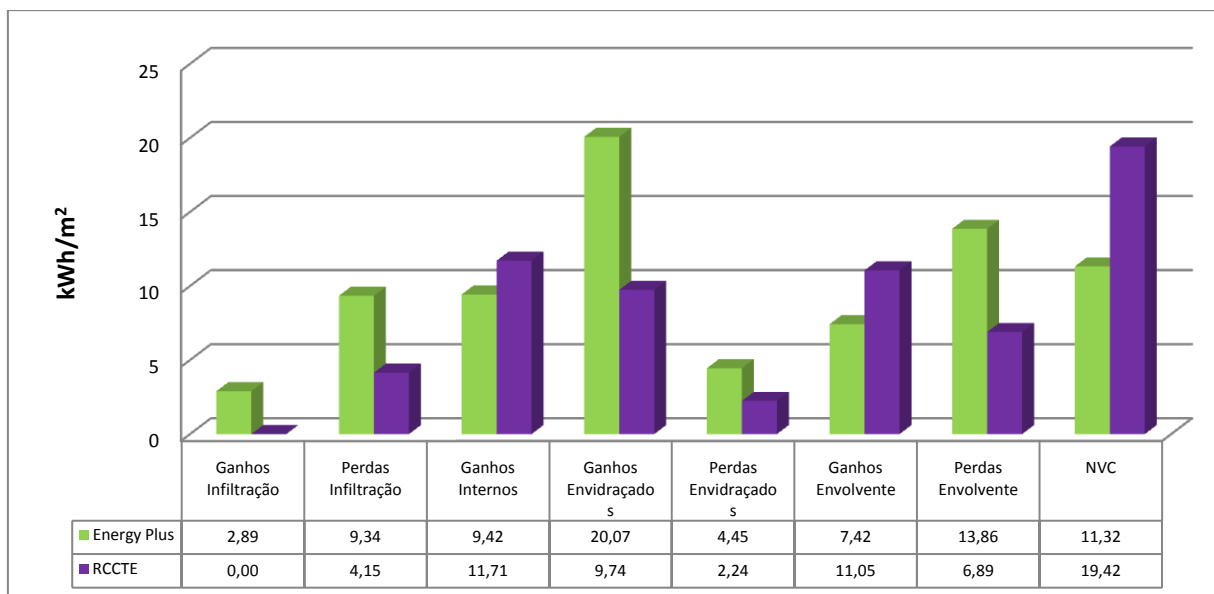


Figura 33: Resultados obtidos através do *Energy Plus* e do RCCTE, para a cidade de Lisboa, com ETICS 3cm de EPS

Ao contrário do que se verificou para a estação de aquecimento, no Verão, os valores obtidos pelo RCCTE para as necessidades de arrefecimento são superiores aos do *Energy Plus* em cerca de 8.1 kWh/m^2 . Estes resultados não vão de encontro com o que era esperado, uma vez que o RCCTE é mais conservativo no cálculo das necessidades de arrefecimento. Embora as perdas por infiltração sejam superiores para o software, o facto de o RCCTE não considerar ganhos de infiltração na estação de arrefecimento, quando se faz a diferença entre perdas e ganhos o valor global obtido é mais próximo do que se verifica pelo regulamento. A diferença observada entre as perdas e ganhos pelos envidraçados prende-se com o facto de o regulamento considerar que para esta estação os dispositivos de sombreamento móveis estão activados a 70%. Como foi explicado na secção 5.3.2, para definição no *Energy Plus* do sistema de sombreamento durante o Verão, considerou-se que este se encontra activo sempre que a temperatura exterior exceder os 25°C .

No que diz respeito aos ganhos pela envolvente opaca, são superiores no RCCTE, tornando-se num aspecto pejorativo dado estar a ser analisada a estação de arrefecimento. As diferenças apresentadas para a estação de Verão não são muito distintas e podem ser justificadas pela diferente abordagem entre os dois métodos.

CAPÍTULO 6- ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 Introdução

Após apresentação dos pressupostos subjacentes ao trabalho realizado são apresentados no presente capítulo os resultados obtidos e a respectiva análise. Na primeira parte apresenta-se os resultados referentes ao município de Lisboa e na segunda parte, os resultados obtidos para Bragança.

De salientar que, todos os resultados apresentados no presente capítulo baseiam-se unicamente no software utilizado, o *Energy Plus*. Será feita uma abordagem comparativa entre a solução parede dupla e o sistema ETICS, variando a espessura de isolante deste.

6.2 Lisboa

Lisboa está classificada como zona climática I1. Primeiramente apresenta-se uma análise comparativa entre a solução parede dupla e diferentes espessuras de EPS para o sistema ETICS, posteriormente será elaborada uma análise percentual das perdas sofridas pelo edifício e ainda uma análise ao nível da temperatura média interior.

6.2.1. Parede dupla versus diferentes espessuras de EPS do sistema ETICS

Seguidamente apresenta-se os resultados obtidos com recurso ao *Energy Plus* referentes a uma parede dupla composta por dois panos de alvenaria de tijolo 30x20x15 e 30x20x11, caixa-de-ar de 3cm e isolante térmico XPS de 4cm, comparando os valores para as diferentes espessuras de EPS que compõem o sistema ETICS (pano simples de alvenaria 30x20x22). Os resultados dizem respeito às necessidades energéticas, obtidas em kWh/m².

▪ **Inverno**

Representa-se na Figura 34 os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento.

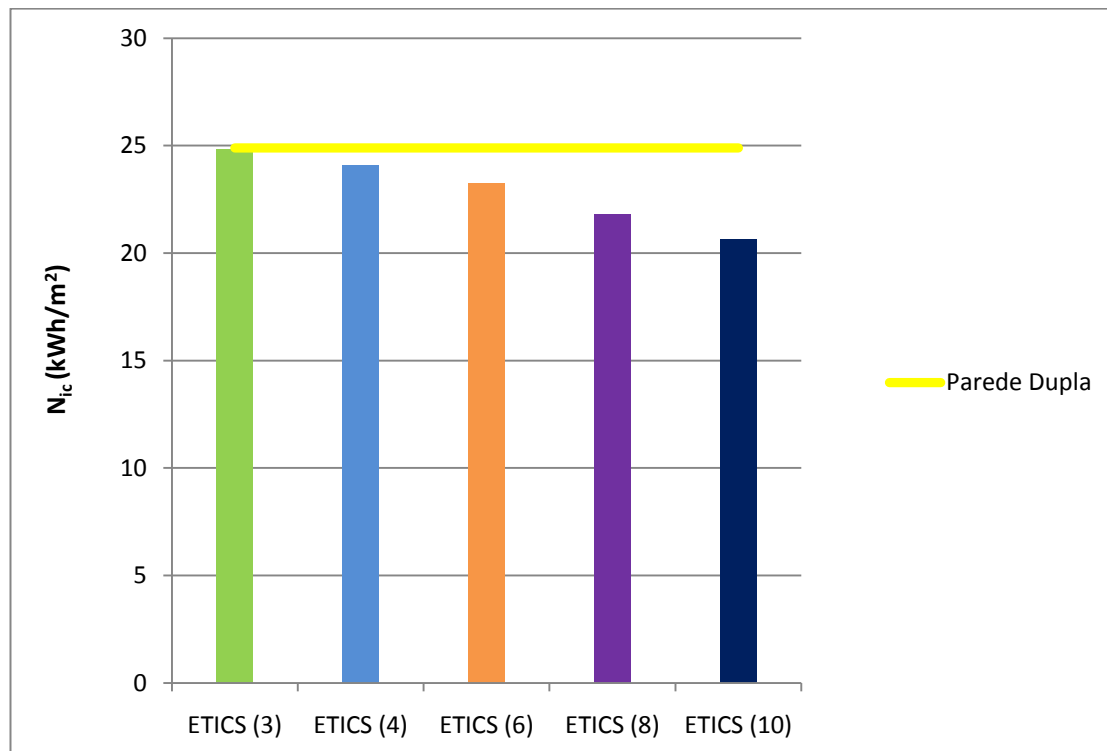


Figura 34: Necessidades de Aquecimento para a cidade de Lisboa

Para melhor compreensão da diferença entre os valores representados graficamente, apresenta-se o Quadro 9.

Quadro 9: Valores de Necessidades de Aquecimento para a cidade de Lisboa

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	N_{ic} (kWh/m²)
Parede Dupla	24.89
ETICS (3)	24.84
ETICS (4)	24.08
ETICS (6)	23.20
ETICS (8)	21.82
ETICS (10)	20.63

Como se pode observar, no que diz respeito às necessidades energéticas de aquecimento para Lisboa, o sistema ETICS com EPS 3cm apresenta-se como uma

solução energeticamente mais eficaz do que a parede dupla (apesar da diferença ser mínima), sendo que, como era de esperar, à medida que se aumenta a espessura de isolante a solução torna-se energeticamente mais eficaz do que a parede dupla. Como foi referido, Lisboa enquadra-se na zona climática I1, ou seja, corresponde a uma zona com menores necessidades de aquecimento no Inverno, pelo que uma solução de envolvente composta por sistema ETICS com 3cm de isolante é suficientemente melhor do que uma parede dupla com 4cm de XPS. Este facto pode justificar-se pela melhoria de comportamento térmico verificada no sistema ETICS, na correcção das pontes térmicas.

▪ Verão

Para a estação de arrefecimento, Lisboa está inserida na zona climática V2. Representa-se na Figura 35 os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento.

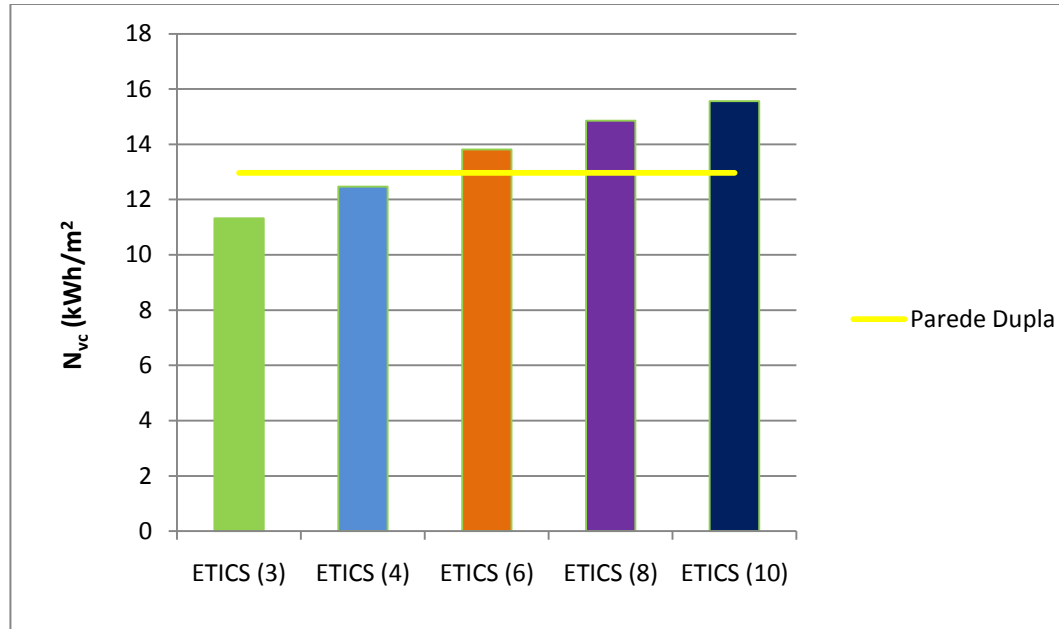


Figura 35: Necessidades de Arrefecimento referentes à cidade de Lisboa

Para melhor compreensão da diferença entre os valores representados graficamente, apresenta-se o Quadro 10.

Quadro 10: Valores de Necessidades de Arrefecimento para a cidade de Lisboa

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	N_{vc} (kWh/m ²)
Parede Dupla	12.97
ETICS (3)	11.32
ETICS (4)	12.46
ETICS (6)	13.81
ETICS (8)	14.86
ETICS (10)	15.56

Para a estação de arrefecimento, Lisboa é classificada como zona climática V2, tendo deste modo necessidades energéticas médias e como se pode observar pelo gráfico o sistema ETICS com 3 e 4cm de isolante obtêm menores necessidades energéticas. Como já era esperado, à medida que aumenta a espessura de isolante, cresce o valor das necessidades de arrefecimento, uma vez que essas soluções retêm mais o calor, provocando uma maior necessidade de arrefecer o edifício.

6.2.2. Variação da temperatura interior

A obtenção das temperaturas interiores é efectuada num regime de funcionamento sem climatização. O sistema encontra-se programado para funcionar sempre que a temperatura seja inferior ou superior à temperatura de conforto para a estação de aquecimento ou de arrefecimento, respectivamente e neste caso estará inactivo.

▪ Dia extremo de Inverno

Seguidamente são apresentados no Quadro 11 os resultados obtidos aquando da simulação para o dia extremo de Inverno, isto é, para o dia onde se verifica uma temperatura exterior mais baixa, neste caso, o dia 31 de Janeiro. De salientar que o dia mais extremo de Inverno foi obtido através do parâmetro de simulação Temperatura Exterior, com base no ficheiro climático de Lisboa.

Quadro 11: Variação da Temperatura Interior para um dia extremo de Inverno (Lisboa)

Hora	Temperatura Exterior (°C)	Parede Dupla	ETICS 3	ETICS 6	ETICS 10
00:00	5.88	14.20	14.08	14.16	14.36
02:00	5.85	14.10	13.98	14.05	14.25
03:00	5.51	13.96	13.84	13.92	14.12
04:00	5.21	13.84	13.72	13.80	13.99
05:00	4.91	13.73	13.61	13.68	13.87
06:00	4.61	13.61	13.49	13.56	13.75
07:00	4.25	13.48	13.36	13.43	13.62
08:00	4.23	13.42	13.30	13.37	13.55
09:00	4.68	13.63	13.50	13.56	13.74
10:00	5.53	14.00	13.85	13.90	14.08
11:00	6.65	14.63	14.48	14.52	14.69
12:00	7.91	15.26	15.07	15.10	15.26
13:00	9.09	15.47	15.27	15.31	15.47
14:00	9.94	15.36	15.17	15.23	15.39
15:00	10.26	15.27	15.10	15.16	15.32
16:00	10.05	15.20	15.03	15.10	15.26
17:00	9.40	14.95	14.79	14.86	15.03
18:00	8.60	14.64	14.51	14.58	14.76
19:00	7.80	14.81	14.68	14.75	14.93
20:00	7.19	14.69	14.56	14.64	14.81
21:00	6.69	14.97	14.84	14.91	15.08
22:00	6.25	14.96	14.83	14.91	15.07
23:00	5.85	14.46	14.34	14.41	14.58
24:00	5.58	14.29	14.18	14.25	14.43

Na Figura 36 representa-se unicamente a variação de temperatura interior com a solução parede dupla e para o sistema ETICS com 10 cm de isolante térmico, uma vez que as variações entre os diferentes sistemas de ETICS são praticamente nulas, as várias linhas ficam sobrepostas, sendo difícil diferenciá-las.

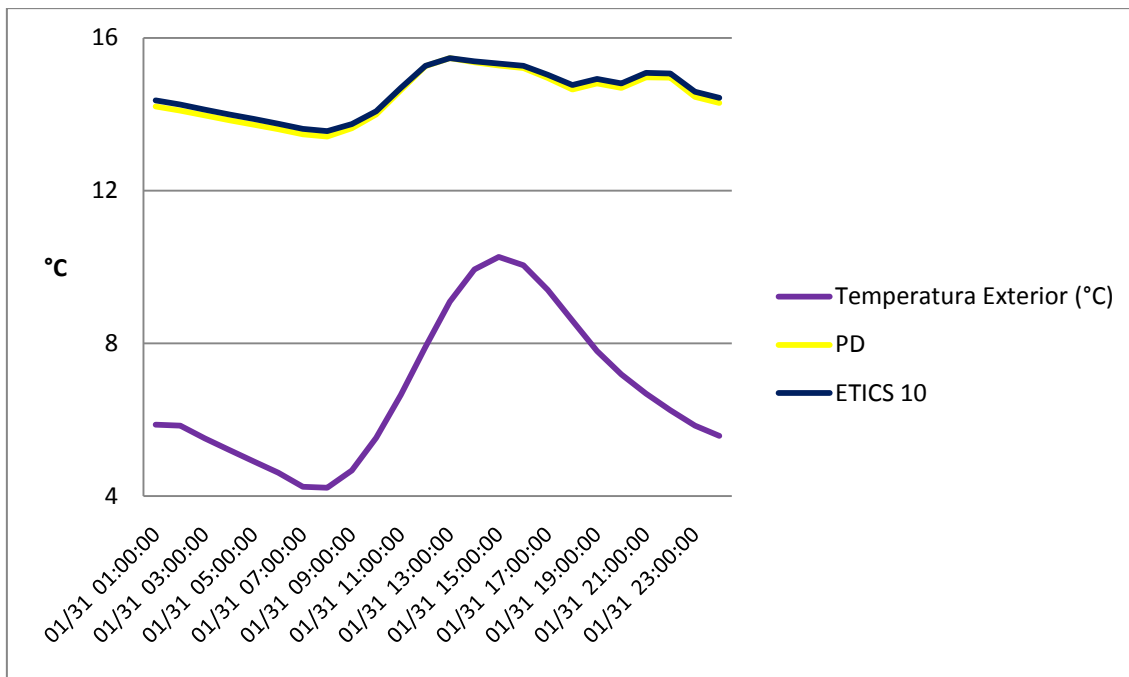


Figura 36: Temperatura Interior para um dia extremo de Inverno, na cidade de Lisboa

Pode concluir-se que a solução que apresenta um melhor comportamento térmico diz respeito ao sistema ETICS com 10cm de isolante, pese embora a diferença entre a parede dupla não seja expressiva. A solução ETICS com 10cm de isolante tem mais do dobro de isolante térmico face à solução parede dupla, apresenta menos trocas de calor entre o exterior e o interior e tem uma inércia térmica muito superior (aumentando significativamente a sua capacidade de acumular calor), logo o desfasamento deveria ser mais significativo, isto é, as amplitudes térmicas do exterior deveriam fazer-se notar mais tarde no interior.

Com os resultados obtidos, pode concluir-se que a temperatura de conforto só é alcançada com recurso a sistemas de climatização.

▪ **Dia Típico de Verão**

Seguidamente são apresentados os resultados obtidos aquando da simulação para um dia típico de Verão, neste caso o dia 23 de Agosto. O dia típico de Verão foi definido através do mesmo procedimento efectuado para o dia extremo de Inverno.

Quadro 12: Variação da temperatura interior para o dia 23 de Agosto (Lisboa)

Hora	Temperatura Exterior (°C)	Parede Dupla	ETICS 3	ETICS 6	ETICS 10
01:00	16.45	25.30	24.77	25.39	25.64
02:00	15.58	25.03	24.51	25.13	25.38
03:00	15.44	24.90	24.39	25.00	25.25
04:00	15.28	24.78	24.27	24.88	25.13
05:00	15.14	24.66	24.15	24.76	25.00
06:00	15.23	24.57	24.07	24.67	24.91
07:00	15.86	24.70	24.17	24.76	25.01
08:00	17.20	24.91	24.36	24.95	25.19
09:00	19.11	25.19	24.62	25.21	25.45
10:00	21.40	25.60	25.03	25.60	25.84
11:00	23.80	26.13	25.57	26.10	26.34
12:00	26.01	26.77	26.21	26.73	26.94
13:00	27.86	27.36	26.78	27.34	27.57
14:00	29.06	27.74	27.17	27.73	27.96
15:00	29.59	27.99	27.42	27.99	28.22
16:00	29.39	28.16	27.57	28.14	28.37
17:00	28.45	28.14	27.53	28.09	28.32
18:00	26.81	27.71	27.14	27.69	27.94
19:00	24.73	27.38	26.87	27.41	27.67
20:00	22.71	26.93	26.43	27.01	27.28
21:00	21.06	27.07	26.59	27.15	27.41
22:00	19.75	26.89	26.42	26.97	27.24
23:00	18.74	26.25	25.76	26.35	26.62
24:00	17.96	25.99	25.49	26.10	26.38

À semelhança do que sucedeu para o dia extremo de Inverno, neste caso, a variação da temperatura interior entre as diferentes soluções também não é expressiva, optando-se por representar graficamente unicamente a solução parede dupla e os sistemas ETICS com 3 e 10 cm de isolante térmico (Figura 37).

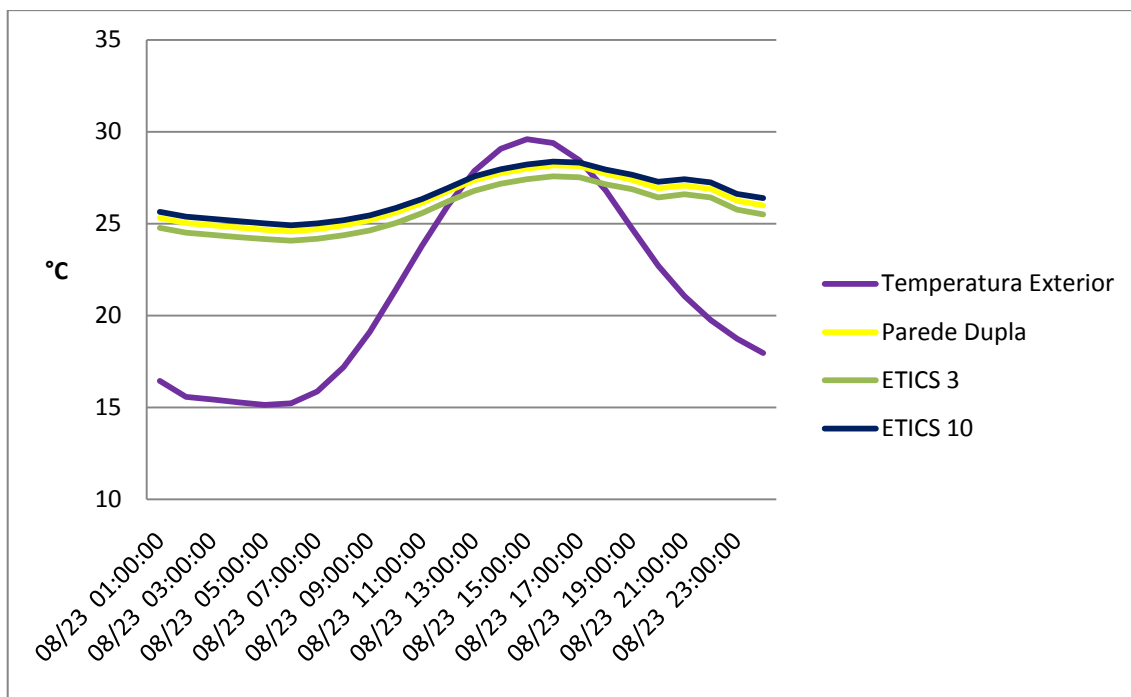


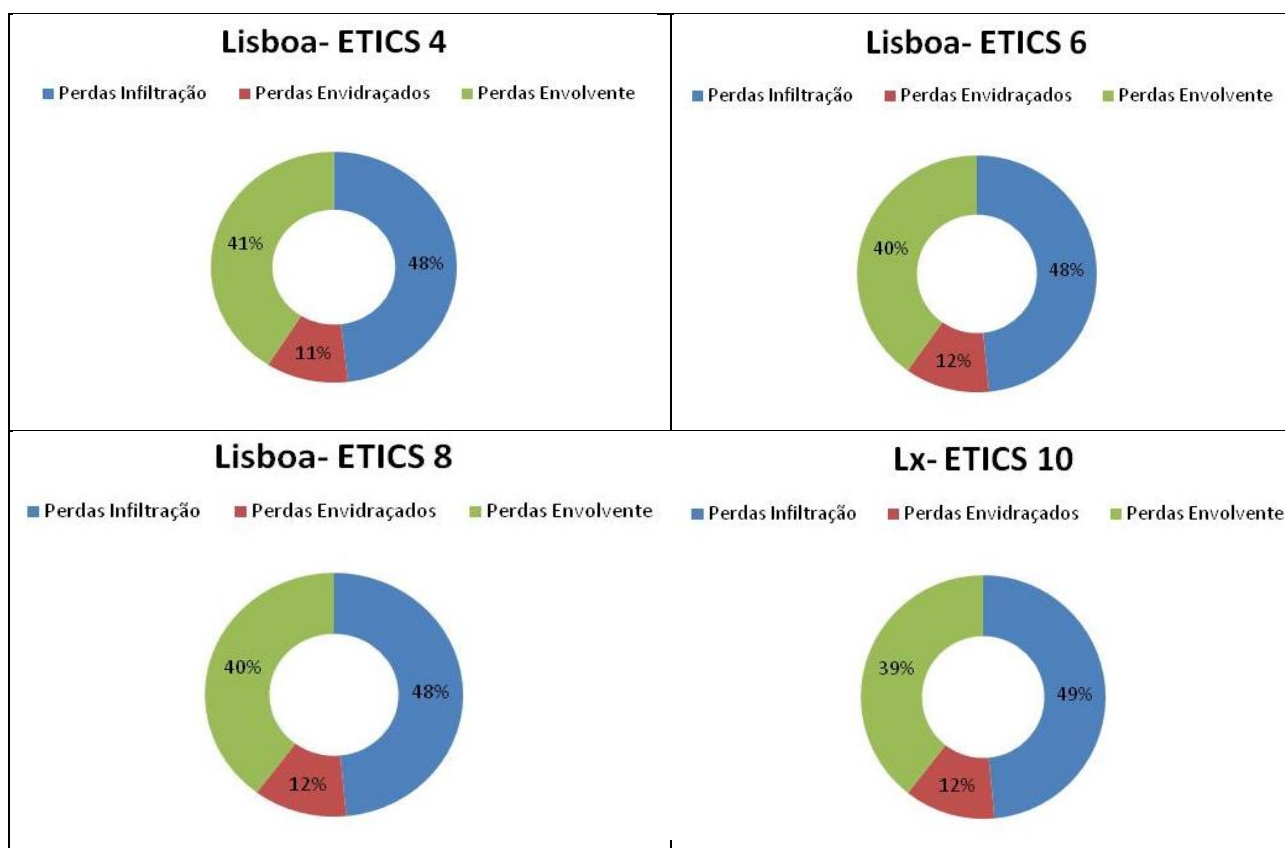
Figura 37: Variação da Temperatura Interior para um dia típico de Verão, na cidade de Lisboa

Para a estação de arrefecimento, a temperatura de conforto é de 25°C e como se pode observar pelo gráfico, sem sistema de climatização, todas as soluções apresentam temperaturas interiores superiores aos 25°C, a partir das 10 horas da manhã. Através da Figura 37 pode também afirmar-se que todas as soluções contemplam uma boa inércia térmica, uma vez que a grande amplitude térmica no exterior não se faz sentir no interior da habitação. Todas as soluções apresentam um comportamento razoável no que respeita à manutenção da temperatura interior de conforto.

6.2.3. Análise de sensibilidade

Para ter noção quais as maiores perdas de calor por parte do edifício em estudo, para as diferentes espessuras de ETICS, apresenta-se no Quadro 13 as percentagens de perdas que se verificam na estação de aquecimento.

Quadro 13: Gráficos referentes à percentagem de perdas no sistema ETICS



Como se pode observar pelo Quadro 13, a percentagem de perdas pela envolvente não é muito significativa à medida que se aumenta a espessura do EPS, variando 2% em 6 cm de isolante. Dos mesmos gráficos pode concluir-se que a renovação de ar tem um peso preponderante, uma vez que para a estação de aquecimento a temperatura exterior é maioritariamente inferior à temperatura de conforto, havendo então muitas perdas por infiltração. Deste modo, é aconselhável a limitação da renovação de ar na estação de aquecimento. Após análise destes resultados optou-se por fazer uma nova simulação, com base no primeiro exemplo exposto neste capítulo, alterando a taxa de renovação de ar para 0.6 renovações por hora, valor mínimo recomendável pela NP 1037, sendo os resultados apresentados seguidamente.

6.2.4. Necessidades de aquecimento obtidas com taxa de renovação de ar conforme NP1037

Neste ponto do trabalho, foi realizada uma simulação para a solução ETICS com EPS de 3cm alterando a taxa de renovação horária, dos 0.8 obtidos inicialmente pelos procedimentos definidos no RCCTE, para o valor definido pela NP 1037, nomeadamente, $0.6h^{-1}$.

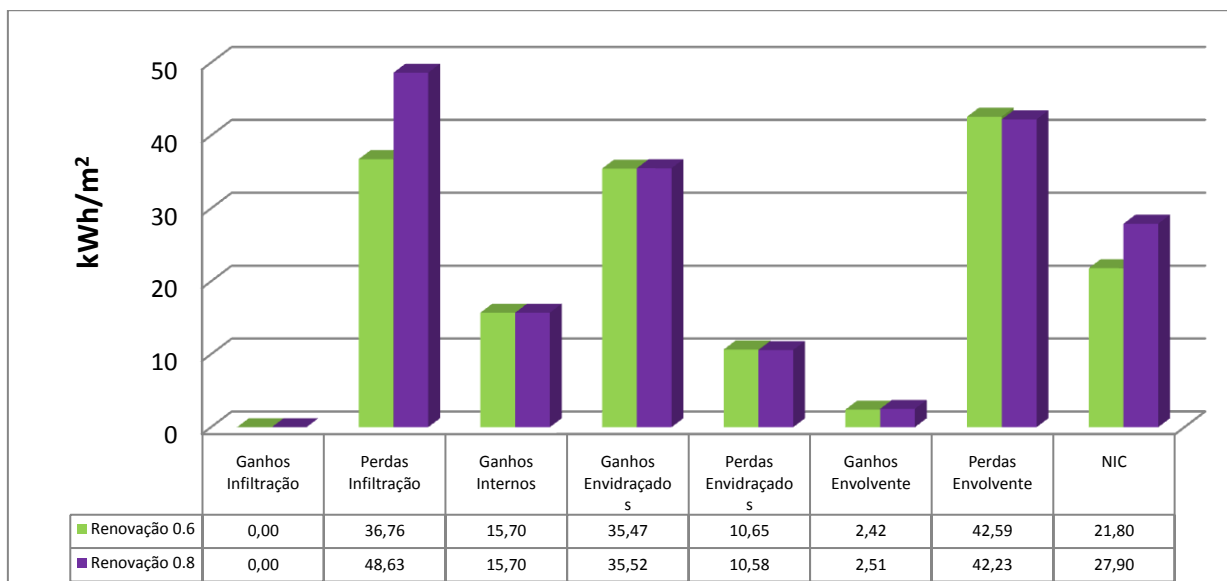


Figura 38: Resultados obtidos para a estação de aquecimento (Lisboa), com diminuição da taxa de renovação de ar

Como se pode observar pela Figura 38, diminuindo a taxa de renovação de ar obtém-se um valor de necessidades energéticas inferior. Alterando a taxa de renovação de $0.8 h^{-1}$ para $0.6 h^{-1}$ as necessidades energéticas diminuem cerca de 22%, sendo portanto relevante controlar a ventilação natural, por exemplo através de portas e janelas mais estanques à entrada de ar.

6.3 Bragança

Bragança é uma cidade localizada na região Norte de Portugal e segundo o RCCTE classifica-se como zona climática I3 (Inverno mais severo). À semelhança do estudo desenvolvido para Lisboa, seguidamente serão apresentados os resultados obtidos para Bragança.

6.3.1 Parede dupla versus diferentes espessuras de ETICS

Seguidamente apresenta-se os resultados obtidos com recurso ao *Energy Plus* referentes a uma parede dupla composta por dois panos de alvenaria de tijolo 30x20x15 e 30x20x11, caixa-de-ar de 3cm e isolante térmico XPS de 4cm, comparando os valores para as diferentes espessuras de EPS que compõem o sistema ETICS (pano simples de alvenaria 30x20x22). Os resultados dizem respeito às necessidades energéticas, obtidas em kWh/m².

▪ Inverno

Representam-se na Figura 39 os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento.

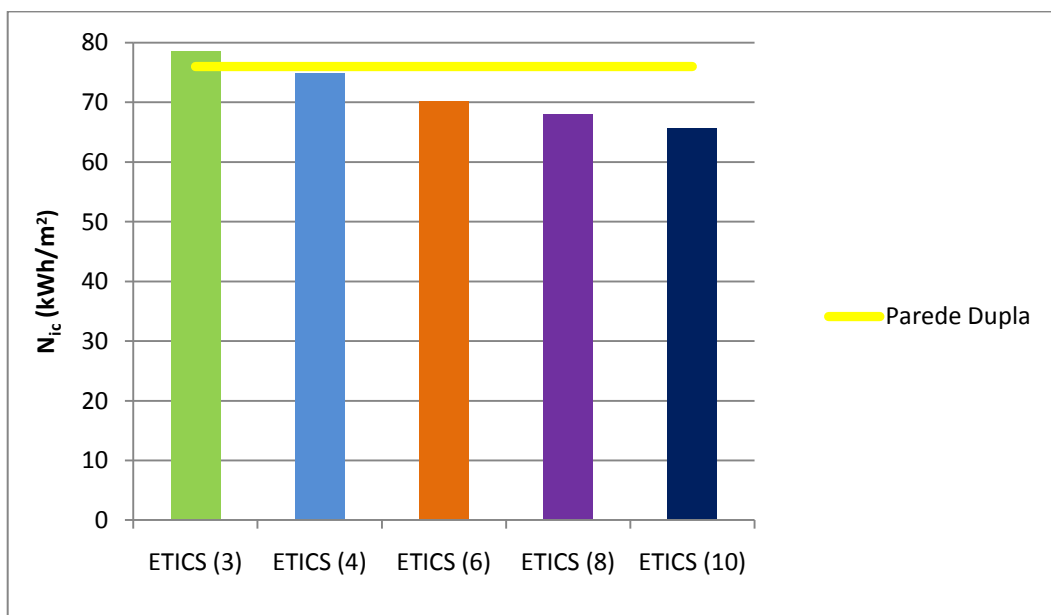


Figura 39: Necessidades de aquecimento para a cidade de Bragança

Para melhor compreensão da diferença entre os valores representados graficamente, apresenta-se o Quadro 14. Posteriormente é feita a análise dos resultados para a estação de Inverno, no município de Bragança.

Quadro 14: Valores de Necessidades de Aquecimento para a cidade de Bragança

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	N_{ic} (kWh/m ²)
Parede Dupla	75.98
ETICS (3)	78.49
ETICS (4)	74.92
ETICS (6)	70.18
ETICS (8)	67.92
ETICS (10)	65.57

Tal como foi anteriormente referido, Bragança corresponde à zona climática I3, apresentando maiores necessidades de aquecimento, pelo que, ao passo que em Lisboa a solução ETICS com 3cm de isolante já apresentava um menor valor de N_{ic} face à parede dupla, neste caso, é a solução ETICS com 4cm de EPS que obtém um menor valor de necessidades de aquecimento. Para o mesmo valor de espessura de XPS e EPS a diferença de valor das necessidades de aquecimento é na ordem dos 5%, mais favorável ao sistema ETICS.

▪ Verão

Para a estação de arrefecimento, à semelhança de Lisboa, Bragança pertence à zona climática V2. Representam-se na Figura 40 os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento.

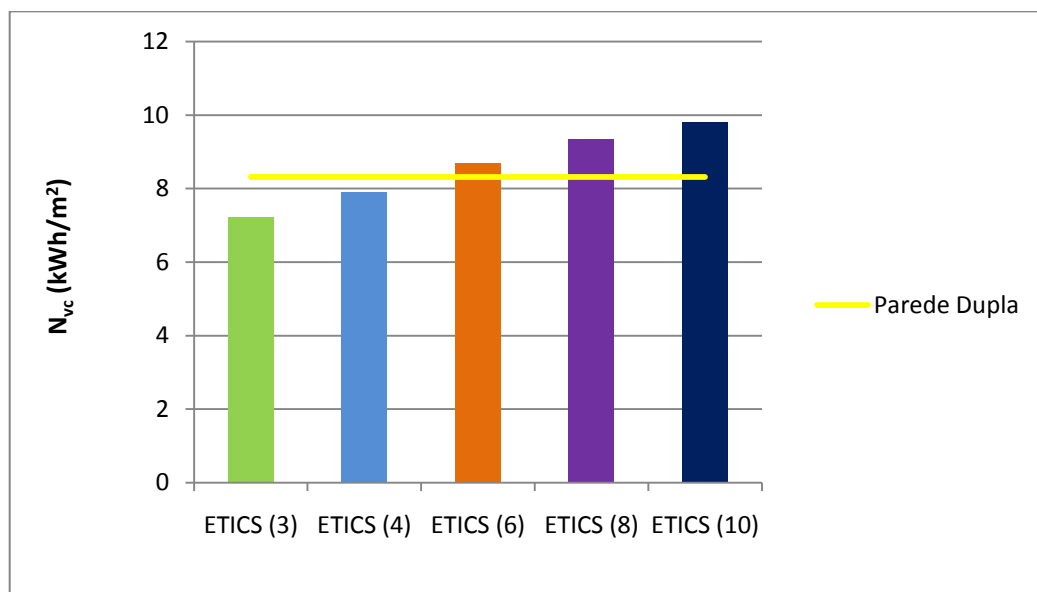


Figura 40: Necessidades de arrefecimento para a cidade de Bragança

Para melhor compreensão da diferença entre os valores representados graficamente, apresenta-se o Quadro 15. Posteriormente é feita a análise dos resultados para a estação de Verão, no município de Bragança.

Quadro 15: Valores de Necessidades de Arrefecimento para a cidade de Bragança

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	N_{vc} (kWh/m ²)
Parede Dupla	8.32
ETICS (3)	7.22
ETICS (4)	7.91
ETICS (6)	8.70
ETICS (8)	9.34
ETICS (10)	9.80

Como seria de esperar, à medida que aumenta a espessura de isolante térmico o valor das necessidades de arrefecimento aumenta uma vez que quanto mais isolante maior a dificuldade do calor passar. Também para esta estação a solução ETICS com 4cm de EPS se revela uma melhor solução face à parede dupla que apresenta maior valor de N_{vc} .

6.3.2 Variação da temperatura interior

A obtenção das temperaturas interiores é efectuada num regime de funcionamento sem climatização. O sistema encontra-se programado para funcionar sempre que a temperatura seja inferior ou superior à temperatura de conforto para a estação de aquecimento ou de arrefecimento, respectivamente e neste caso estará inactivo.

▪ Dia extremo de Inverno

Através do relatório de simulação para a variação da temperatura exterior ao longo da estação de aquecimento, constatou-se que o dia em que a temperatura exterior é mais baixa é a 19 de Janeiro. Simulações realizadas sem equipamentos de climatização activados permitiram obter os resultados que se apresentam no Quadro 16.

Quadro 16: Variação da temperatura interior ao longo do dia 19 de Janeiro (Bragança)

Hora	Temperatura Exterior	Parede Dupla	ETICS 3	ETICS 6	ETICS 10
01:00	-2.44	6.28	6.52	5.91	5.37
02:00	-3.30	6.00	6.27	5.65	5.11
03:00	-3.36	5.91	6.18	5.57	5.02
04:00	-3.96	5.77	6.04	5.42	4.88
05:00	-4.80	5.58	5.85	5.24	4.70
06:00	-5.66	5.38	5.65	5.05	4.50
07:00	-5.69	5.28	5.56	4.95	4.41
08:00	-5.25	5.27	5.55	4.93	4.39
09:00	-4.79	5.17	5.43	4.82	4.27
10:00	-4.04	5.30	5.55	4.93	4.38
11:00	-3.20	5.60	5.84	5.20	4.65
12:00	-2.34	6.00	6.20	5.56	5.01
13:00	-1.19	6.40	6.57	5.92	5.37
14:00	0.18	6.71	6.87	6.23	5.67
15:00	1.51	6.90	7.05	6.43	5.87
16:00	1.94	6.84	7.00	6.38	5.82
17:00	1.78	6.65	6.83	6.21	5.65
18:00	1.64	6.59	6.79	6.16	5.61
19:00	1.16	6.83	7.01	6.42	5.87
20:00	0.53	6.75	6.95	6.35	5.80
21:00	-0.14	7.00	7.20	6.62	6.09
22:00	-0.53	7.02	7.22	6.64	6.11
23:00	-0.73	6.64	6.86	6.25	5.70
24:00	-0.93	6.55	6.78	6.15	5.60

Ao contrário do que se verificou para a cidade de Lisboa, em que a variação de espessura de isolante térmico não inculcia uma diferença relevante entre as várias soluções, para Bragança, como mostra a Figura 41 já é possível obter resultados mais expressivos.

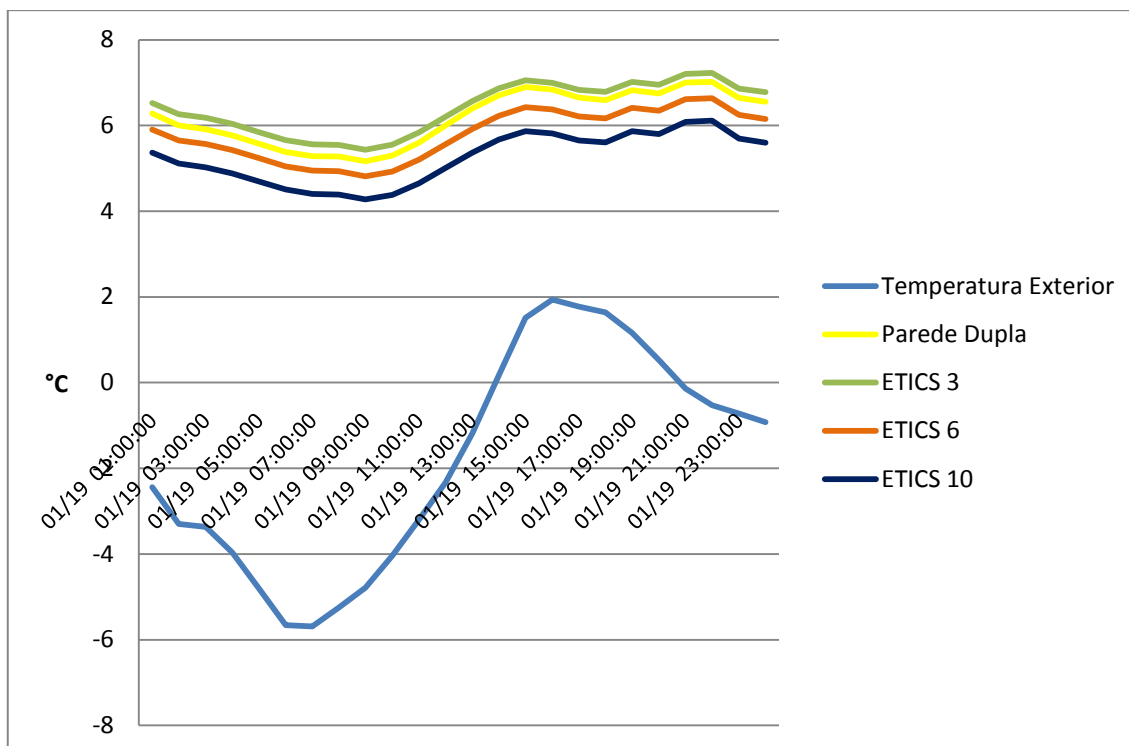


Figura 41: Variação da temperatura interior num dia extremo de Inverno, na cidade de Bragança

Como se pode observar, sem sistema de climatização é impossível alcançar a temperatura de conforto, 20°C, chegando mesmo a ser quase 16°C menores. Estes resultados são bastante surpreendentes pois seria de esperar que a solução com maior espessura de isolante térmico fosse a que obteria um melhor comportamento térmico (pois tem maior resistência térmica, sendo o fluxo de calor entre o exterior e o interior menor) e acontece exactamente o contrário, sendo a solução com menor quantidade de isolante a que apresenta maiores valores de temperatura interior. Este facto não poderá ser justificado pelo fenómeno de radiação uma vez que para o cálculo do fluxo de calor resultante da radiação estão presentes as variáveis: coeficiente de absorção de onda curta e intensidade de radiação, sendo que estas não variam consoante a espessura do isolante térmico. Deste modo, aparentemente, não existe uma explicação plausível para estes resultados.

De referir que, a grande amplitude térmica que se verifica no exterior não se faz sentir no interior, para qualquer das soluções.

▪ **Dia típico de Verão**

Para um dia representativo da estação de arrefecimento, 8 de Junho, foram feitas várias simulações com o sistema de climatização inactivo, de forma a obter a temperatura que se verifica no interior da habitação para cada solução construtiva que compõe a envolvente. Os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 17.

Quadro 17: Variação da Temperatura interior para o dia 8 de Junho (Bragança)

Hora	Temperatura Exterior	Parede Dupla	ETICS 3	ETICS 6	ETICS 10
01:00	21.48	29.25	28.54	29.40	30.14
02:00	20.78	29.04	28.34	29.19	29.93
03:00	19.78	28.80	28.11	28.96	29.70
04:00	19.09	28.59	27.91	28.76	29.50
05:00	18.65	28.42	27.75	28.60	29.33
06:00	18.19	28.23	27.56	28.41	29.14
07:00	19.31	28.32	27.64	28.48	29.20
08:00	21.35	28.67	27.98	28.78	29.50
09:00	23.41	28.99	28.27	29.06	29.76
10:00	25.95	29.45	28.71	29.49	30.17
11:00	28.75	30.05	29.31	30.09	30.74
12:00	31.55	30.77	29.99	30.79	31.45
13:00	33.10	31.26	30.46	31.28	31.97
14:00	33.90	31.57	30.77	31.59	32.28
15:00	34.70	31.86	31.06	31.89	32.57
16:00	34.31	32.06	31.22	32.05	32.74
17:00	33.28	32.11	31.24	32.06	32.73
18:00	32.21	32.02	31.15	31.96	32.62
19:00	30.43	31.85	31.02	31.83	32.48
20:00	28.23	31.23	30.49	31.27	31.94
21:00	26.03	31.22	30.48	31.26	31.92
22:00	24.45	30.93	30.27	31.05	31.72
23:00	23.25	30.21	29.55	30.37	31.09
24:00	22.05	29.88	29.21	30.06	30.79

A Figura 42 representa a variação da temperatura interior, na moradia em estudo, para um dia típico de Verão, no município de Bragança.

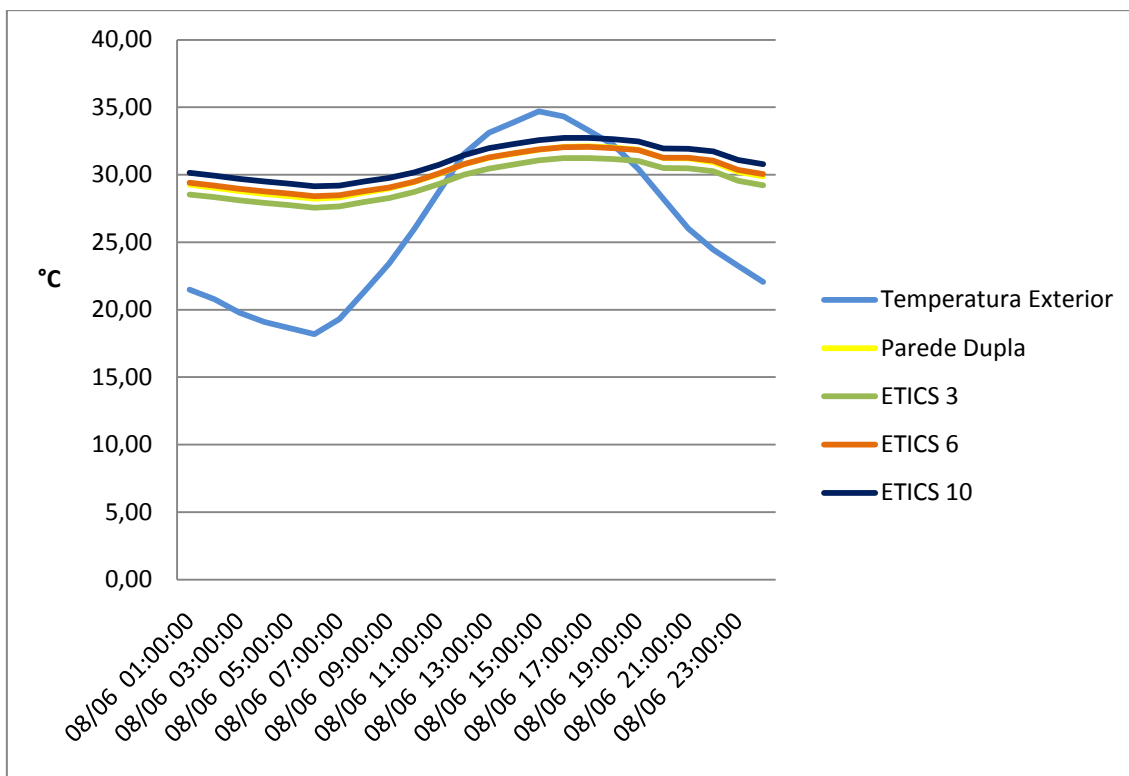


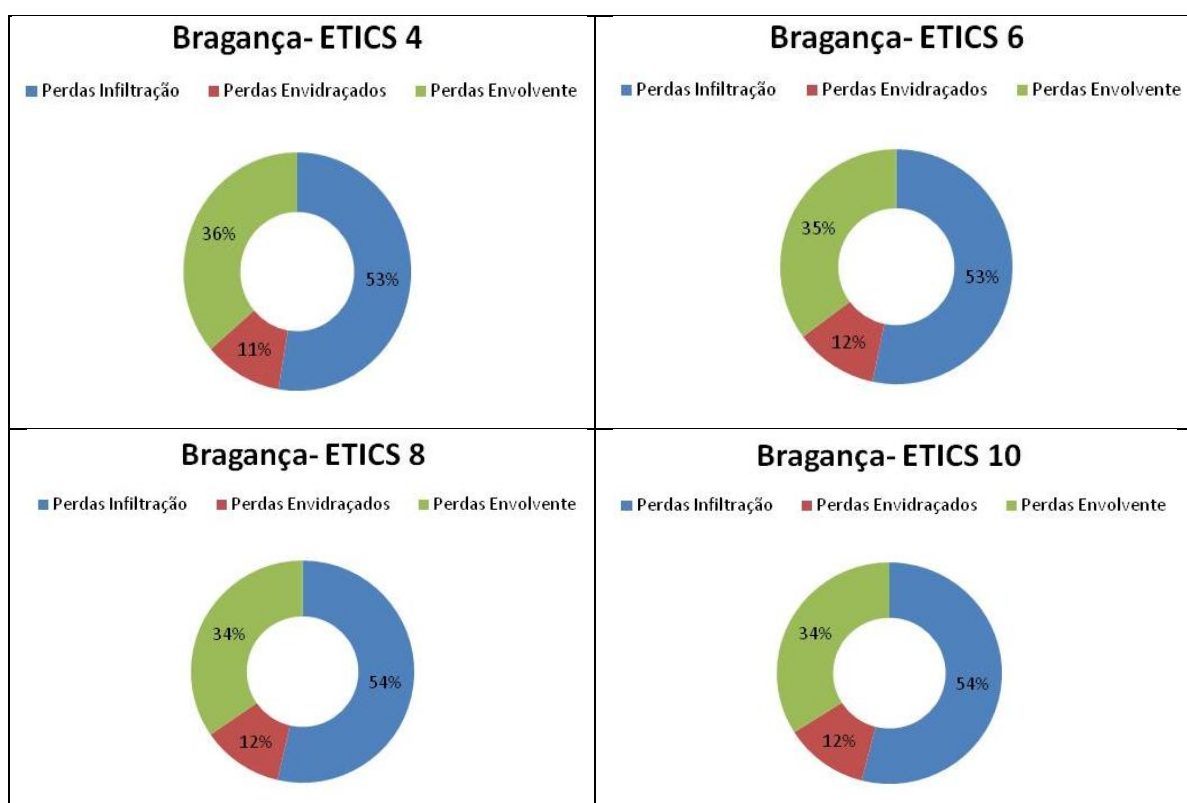
Figura 42: Variação da temperatura interior, sem climatização, num dia típico de Verão, em Bragança

Como se pode observar pelo gráfico a solução construtiva com menor espessura de isolante, ETICS 3cm de EPS, é a que proporciona valores de temperatura interior mais próximos da temperatura de conforto, 25°C.

6.3.3 Análise de sensibilidade

Para a estação de aquecimento, onde interessa minimizar as perdas de energia, foram realizados gráficos circulares para obter uma noção da influência da espessura de isolante na percentagem das perdas no edifício. Os resultados são apresentados no Quadro 18.

Quadro 18: Percentagem de perdas em função da espessura de isolante



Como se pode observar pelo Quadro 18, a percentagem das perdas pela envolvente não é significativa com o aumento da espessura do isolante. Estes resultados são um pouco surpreendentes pois, aumentando a espessura de isolante no dobro a percentagem de diminuição das perdas pela envolvente é de apenas 2%, à partida seria de esperar uma percentagem mais significativa, no entanto, a redução acaba por se verificar. Com estes resultados pode mais uma vez aferir-se a importância da renovação de ar nas perdas por infiltração que acabam por ter um peso maior relativamente às perdas pela envolvente, podendo-se concluir que uma redução da taxa de renovação de ar poderá ser mais benéfica do que optar por uma solução construtiva com maior espessura de isolante.

6.3.4 Necessidades de aquecimento obtidas com taxa de renovação de ar conforme NP1037

No seguimento dos resultados obtidos no ponto anterior optou-se por fazer uma simulação reduzindo a taxa de renovação de ar para $0.6h^{-1}$, valor definido na NP 1037.

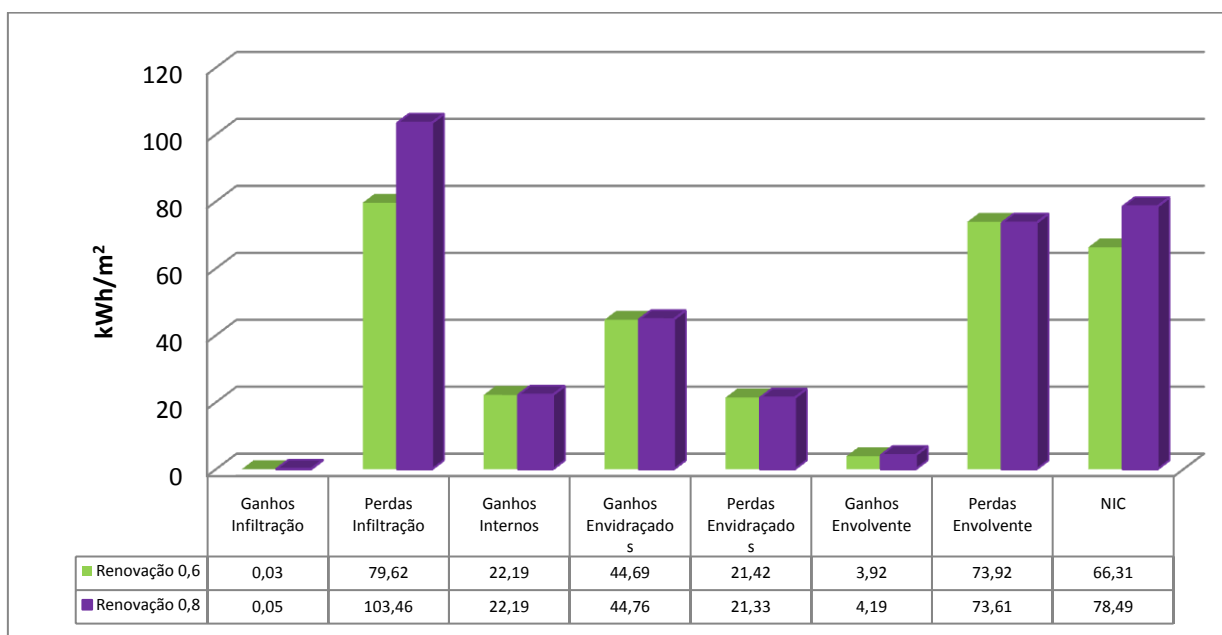


Figura 43: Resultados obtidos com diminuição da taxa de renovação de ar, para Bragança

Pela Figura 43 pode observar-se a redução do valor das necessidades de aquecimento em cerca de 16% para uma taxa de renovação de ar menor, o que salienta a importância da renovação de ar no consumo energético do edifício, devendo dar-se especial atenção à permeabilidade dos caixilhos e caixas de estores que não deve ser muito elevada de modo a minimizar as perdas por infiltração na estação de aquecimento.

CAPÍTULO 7- CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Concluída a exposição dos resultados obtidos, serão agora apresentadas neste capítulo as conclusões que, de uma forma sintética, procuram resumir alguns valores com interesse e transpô-los para o objectivo do trabalho. O objectivo que se pretendia atingir desde o início prende-se com o facto de conhecer o impacto que as diferentes espessuras de isolante térmico que compõe o sistema ETICS causam no comportamento térmico do edifício, ao nível das necessidades energéticas, tendo em conta duas zonas climáticas de Inverno, em Portugal. Bragança e Lisboa são as localizações com maior e menor consumo de energia, respectivamente, verificando-se uma diferença de valores substancial.

Na Figura 44 representam-se as necessidades nominais anuais para cada um dos municípios em estudo, evidenciando-se a distinção entre as duas zonas climáticas de Inverno a que pertencem. Bragança, zona climática I1, apresenta claramente maiores necessidades energéticas do que Lisboa, zona climática I3.

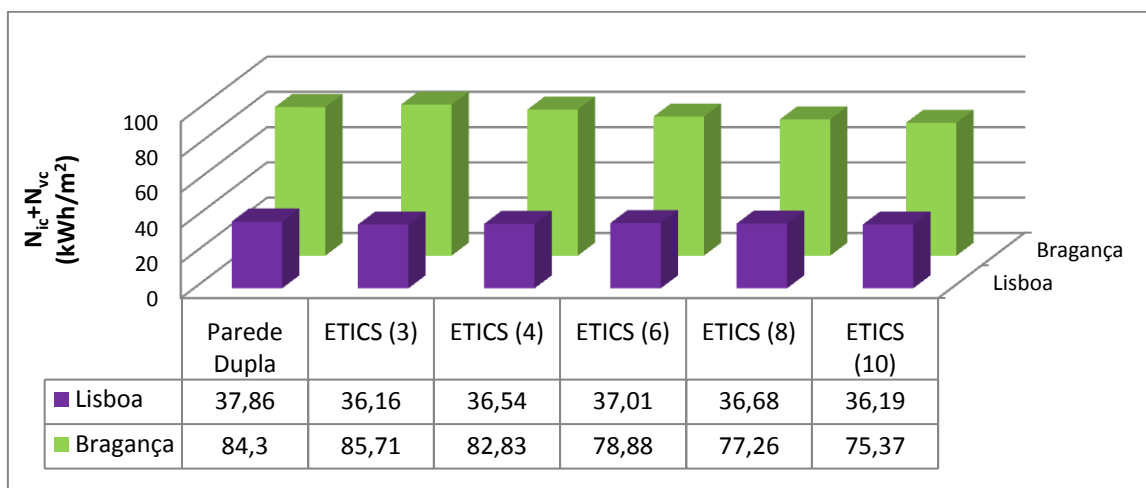


Figura 44: Necessidades nominais anuais para Bragança e Lisboa

De modo a ser mais perceptível a diferença de resultados obtidos, no Quadro 19 representa-se o valor das necessidades energéticas para cada um dos municípios em estudo, uma coluna com a energia nominal anual ($N_{ic} + N_{vc}$) e ainda uma coluna com a percentagem de energia nominal anual de cada sistema ETICS face à solução construtiva parede dupla.

Quadro 19: Necessidades nominais (EP) das várias soluções construtivas em Bragança e Lisboa

	Bragança				Lisboa			
	N_{ic}	N_{vc}	$N_{ic} + N_{vc}$	%	N_{ic}	N_{vc}	$N_{ic} + N_{vc}$	%
Parede Dupla	75.98	8.32	84.30	-	24.89	12.97	37.86	-
ETICS (3)	78.49	7.22	85.71	- 1.7	24.84	11.32	36.16	4.5
ETICS (4)	74.92	7.91	82.83	1.7	24.08	12.46	36.54	3.5
ETICS (6)	70.18	8.70	78.88	6.4	23.20	13.81	37.01	2.2
ETICS (8)	67.92	9.34	77.26	8.4	21.82	14.86	36.68	3.1
ETICS (10)	65.57	9.80	75.37	10.6	20.63	15.56	36.19	4.4
	kWh/m ²				kWh/m ²			

No que respeita às necessidades nominais anuais ($N_{ic} + N_{vc}$), para Bragança, a partir de uma espessura de EPS de 4 cm do sistema ETICS obtém-se melhores resultados face à parede dupla. Para Lisboa, qualquer um dos sistemas ETICS proporciona melhores resultados ao nível das necessidades energéticas do que a parede dupla.

Para Bragança, a parede dupla apresenta uma redução de aproximadamente 2% nas necessidades nominais anuais, face ao sistema ETICS com 3cm de EPS. Ainda para Bragança, uma espessura de isolante térmico de 3cm de EPS, relativamente a 10cm obtém-se uma redução das necessidades nominais de aproximadamente 11%. No que respeita à cidade de Lisboa, um sistema ETICS com 3cm de EPS, relativamente ao mesmo sistema com 10cm de isolante, apresenta praticamente o mesmo valor de necessidades nominais.

Se a análise for feita ao nível das necessidades de aquecimento, uma variação na espessura de isolante entre 3 e 10cm induz uma redução de 16.5% de N_{ic} para Bragança e de 12% de N_{ic} para a cidade de Lisboa.

Para as necessidades de arrefecimento, pode-se concluir que, uma variação de espessura de EPS do sistema ETICS entre os 3 e os 10cm implica um aumento das necessidades energéticas em cerca de 36% e 31%, para Bragança e Lisboa, respectivamente.

Em Portugal, a estação do Inverno é particularmente mais severa quando comparada com o Verão, uma vez que as necessidades energéticas para assegurar o

conforto térmico neste período chegam a superar em mais de 5 vezes as do período de arrefecimento.

Relativamente aos restantes resultantes obtidos, as conclusões a tirar são várias:

- O facto da maioria das perdas estar associada à renovação de ar, mostra que o edifício está bem isolado termicamente. Estas perdas ocorrem pela entrada de ar através das caixilharias, caixas de estore, que ao ser posteriormente extraído do edifício, acaba por retirar uma grande quantidade de calor. São difíceis de minimizar, dada a necessidade de assegurar a substituição do ar interior, de forma a manter a salubridade do edifício;

- Também os envidraçados possuem um peso determinante nas perdas de calor, o que não se verifica com a envolvente opaca dado que esta se encontra bem isolada. Torna-se então importante ter sistemas de aproveitamento dos ganhos solares adequados;

- Para o concelho de Bragança, verifica-se maior diferença ao nível da variação da temperatura interior de acordo com a solução construtiva, do que para o concelho de Lisboa. Tal facto justifica-se pelas diferenças climáticas existentes entre os dois concelhos, uma vez que Bragança tem um Inverno mais severo.

Em suma, e focando o principal objectivo do trabalho, o aumento da espessura de isolante térmico do sistema ETICS não induz diferenças tão significativas ao nível das necessidades de climatização como seria de esperar. Pode então concluir-se que, por forma a obter uma redução do valor das necessidades energéticas, para além da espessura de isolante térmico, terão de ser conjugados vários factores como: o controlo da ventilação natural, do sombreamento e a orientação do edifício.

Esta dissertação pode servir de base para o desenvolvimento de trabalhos futuros no âmbito do comportamento térmico de edifícios, nomeadamente nos seguintes tópicos:

- Realização de uma análise económica e financeira com base no período de retorno do investimento inicial para cada solução construtiva por forma a obter uma optimização entre a quantidade de isolante e os gastos energéticos;
- Como ficou demonstrado os resultados obtidos divergem para as duas estações (uma solução que é melhor no Inverno poderá ser pior no Verão), poderá ser feito um estudo para as diferentes combinações de zonas climáticas de Inverno e Verão, também com intuito de avaliar o conforto térmico;
- Impacto do sistema ETICS no comportamento térmico de edifícios residenciais dotados de sistemas de energias renováveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E ELECTRÓNICAS

- [1] Decreto-Lei n.º 40/1990 de 6 de Fevereiro. Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).
- [2] SANTOS, C.A. Pina e MATIAS Luís, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* – ITE 50, LNEC, Lisboa, 2006.
- [3] Input Output Reference, The Encyclopedic Reference to Energy Plus Input and Output, November, 2008.
- [4] RODRIGUES, António Moret; *Térmica de Edifícios*, Orion, Lisboa, 2009.
- [5] *O Guia Weber 2010*, Saint-Gobain.
- [6] CÓIAS, Victor e FERNANDES Susana, *Reabilitação Energética dos Edifícios*. Engenharia e Vida, Nº47, págs. 40-43, Junho 2008.
- [7] CARVALHO, Carlos; *Soluções Construtivas sobre a Envolvente Exterior de Edifícios – O XPS*. Engenharia e Vida, Nº39, págs. 50-51, Outubro 2007.
- [8] ADENE; *Eficiência Energética*. Materiais de Construção, Nº148, págs. 56-57, Março/Abril 2010.
- [9] TEIXEIRA, Vasco e SILVA, Emanuel; *Soluções Inovadoras para Melhoria do Desempenho Energético de Edifícios*. Materiais de Construção, Nº149, págs. 46-47, Maio/Junho 2010.
- [10] ALVES GOUVEIA, Pedro Manuel; *Caracterização dos Impactes da Envolvente no Desempenho Térmico dos Edifícios*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil IST, Janeiro de 2008.
- [11] SANTOS, C.A. Pina e PAIVA, José A., *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* - ITE 28, LNEC, Lisboa, 1996.

- [12] FREITAS, Vasco Peixoto, GONÇALVES, P., *Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido – ETICS*, FEUP, Formação contínua. Porto, 2005.
- [13] Weber. therm- Manual técnico, 2008.
- [14] ABALADA, Victor Hugo Marques; *Aplicação de Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil FCTUC, Julho de 2008.
- [15] ADENE, *Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais*. Lisboa, Maio de 2008.
- [16] COLLINA, Amilcare, *Comfort and Energy Saving: the External Thermal Insulation Composite System (ETICS)*, Italy.
- [17] MENDES, J.A.R. Silva e FALORCA Jorge, *A model plan for buildings maintenance with application in the performance analysis of a composite facade cover*. Construction and Building Materials, Nº 23, págs. 3248-3257, Junho de 2009.
- [18] FREITAS, Vasco Peixoto. (2002). *“Isolamento térmico de fachadas pelo exterior – Sistema HOTSKIN”*. Relatório HT 191A/02, MAXIT – Tecnologias de Construção e Renovação, Lda. Porto.
- [19] QUALITE CONSTRUCTION – *L’isolation thermique par L’Extérieur – Enduit mince sur isolant*. Agence pour la Prévention des Désordres et l’Amélioration de la Qualité de la Construction.
- [20] SILVA, J.A.R. Mendes da; TORRES, Maria Isabel M; CARVALHAL, Mário J.T. (2003). *“Envelhecimento Natural e Patologia de Revestimentos Delgados Armados Sobre Isolamento Térmico, em Paredes de Fachadas”*. 2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa.
- [21] Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).
- [22] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de

Climatização em Edifícios (RSECE);

[23] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).

[24] VALÉRIO, Jorge G. M. A. P.; Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, IST, Setembro de 2007.

[25] ROUSSADO, Francisco J. B.; Avaliação dos Impactes Construtivos e Ambientais da Regulamentação Térmica, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, IST, Outubro de 2008.

[26] CANHA DA PIEDADE, A.; MORET RODRIGUES, A.; RORIZ, L.F.; Climatização em edifícios – envolvente e comportamento térmico, Edições Orion, Lisboa, Abril 2003.

[27] COMISSÃO EUROPEIA (CE), Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L1, Abril de 2003.

[28] AFONSO, João F. S., *Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos*, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, FCTUNL, 2009.

Internet

[29] <http://www.construcaosustentavel.pt> Data da consulta: 25/08/2010

[30] <http://engenhariacivil.wordpress.com> Data da consulta: 20/09/2010

[31] <http://www.esferovite.com/> Data da consulta: 08/11/2010

[32] <http://www.dryvit.pt/vantagens.htm> Data da consulta: 08/11/2010

ANEXO I

Coeficientes de Transmissão Térmica das soluções adoptadas

Parede dupla em zona corrente				
Camada	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)	Referência
Argamassa de reboco	0,015	1,300	0,012	Página I.7 ITE50/ LNEC
Tijolo furado 30x20x15	0,150		0,390	Página I.12 ITE50/ LNEC
Caixa de ar	0,030		0,175	Página I.11 ITE 50/ LNEC
Isolante térmico XPS	0,040	0,037	1,081	Página I.3 ITE 50/ LNEC
Tijolo furado 30x20x11	0,110	-	0,270	Página I.12 ITE50/ LNEC
Estuque	0,015	0,430	0,035	Página I.6 ITE 50/ LNEC
	0,360		1,963	
Rse			0,040	Fluxo horizontal
Rsi			0,130	
		U	0,469	

Correcção das zonas de ponte térmica da parede dupla				
Camada	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)	Referência
Argamassa de reboco	0,015	1,300	0,012	Página I.7 ITE 50/ LNEC
Betão	0,250	2,000	0,125	Página I.5 ITE50/LNEC
Isolam. térmico (XPS)	0,040	0,037	1,081	Página I.3 ITE50/LNEC
Estuque projectado	0,015	0,430	0,035	Página I.7 ITE50/LNEC
	0,320		1,25	
Rsi			0,13	Fluxo horizontal
Rse			0,04	
		U =	0,70	

Sistema ETICS em zona corrente				
Camada	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)	Referência
Estuque	0,020	0,430	0,047	Página I.6 ITE 50/ LNEC
Tijolo furado 30x20x22	0,220		0,520	Página I.12 ITE50/ LNEC
Isolante térmico EPS	0,030	0,036	0,833	Página I.3 ITE 50/ LNEC
	0,270		1,400	
Rse			0,040	Fluxo horizontal
Rsi			0,130	
		U	0,637	

Sistema ETICS na zona estrutural				
Camada	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)	Referência
Estuque projectado	0,020	0,430	0,047	Página I.7 ITE50/LNEC
Betão	0,250	2,000	0,125	Página I.5 ITE50/LNEC
Isolante térmico (EPS)	0,030	0,036	0,833	Página I.3 ITE50/LNEC
	0,30		1,0	
Rsi			0,13	Fluxo horizontal
Rse			0,04	
		U =	0,85	

Pavimento térreo				
Camada	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)	Referência
Laminado madeira	0,005	0,130	0,038	Página I.7 ITE50/LNEC
Betonilha regularização	0,050	1,300	0,038	Página I.5 ITE50/LNEC
Floormate	0,030	0,035	0,857	
Massame armado	0,150	2,000	0,075	Página I.3 ITE50/LNEC
Camada de enronçamento	0,200	2,000	0,100	Página I.9 ITE 50/ LNEC
	0,435		1,11	
Rsi			0,17	Fluxo vertical descendente
Rse			0,04	
		U =	0,76	

Cobertura plana invertida				
Camada	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)	Referência
Estuque projectado	0,015	0,430	0,035	Página I.7 ITE50/LNEC
Laje maciça	0,200	2,000	0,100	Página I.5 ITE50/LNEC
Camada forma/regularização	0,100	2,000	0,050	Página I.5 ITE50/LNEC
Impermeabilização	0,003	0,230	0,013	Página I.9 ITE 50/ LNEC
XPS	0,060	0,037	1,622	Página I.3 ITE50/LNEC
	0,378		1,82	
Rsi			0,1	Fluxo vertical ascendente
Rse			0,04	
		U =	0,51	

ANEXO II

Folhas de Cálculo do RCCTE

(Sistema ETICS 3cm de EPS – Lisboa)

Folha de Cálculo FCIV.1a

Cálculo de valores de U

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U A (W/°C)
PEzc- N	30,7	0,64	19,56
PE zc- E	34,71	0,64	22,11
PE zc-S	39,44	0,64	25,12
PE ptp-S	0,26	0,85	0,22
PE zc- W	16,66	0,64	10,61
Porta entrada	1,80	2,43	4,37
Caixa de estore	4,46	0,40	1,78
	128,0325	TOTAL	83,78

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U A (W/°C)
Cobertura	167,74	0,51	85,60
			0,00
			0,00
	167,74	TOTAL	85,60

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Desenv. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ B (W/°C)
Pavimento N	14,30	0,75	10,73
Pavimento E	17,65	0,75	13,24
Pavimento S	13,70	0,75	10,28
Pavimento W	16,14	0,75	12,11
			0,00
		TOTAL	46,34

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ B (W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos	23,152	0,45	10,42
Fachada c/pav. sobre garagem e desvão			0,00
Fachada com pavimentos intermédios			0,00
Fachada com cobertura	61,70	0,50	30,85
Fachada com varanda			0,00
Duas paredes verticais	28,60	0,15	4,29
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	68,18	0,20	13,64
Outra (descrição...)			0,00
Outras (descrição...)			0,00
		TOTAL	59,19

Perdas pela envolvente exterior	(W/°C)	TOTAL	169,38
--	---------------	--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1c

Cálculo de valores de U

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Envidraçado Sul- sala	4,27	2,50	10,67
Envidraçado Sul- quarto 01	2,75	2,50	6,88
Envidraçado Sul- suite	2,75	2,50	6,88
Envidraçado Norte- sala	2,15	2,50	5,38
Envidraçado Norte- cozinha	0,90	2,50	2,25
Envidraçado Norte- quarto 02	4,27	2,50	10,67
Envidraçado Oeste- sala	4,27	2,50	10,67
Envidraçado Oeste- cozinha	0,84	2,50	2,10
			0,00
	22,192	TOTAL	55,48

Folha de cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à renovação de ar

Área Útil de Pavimento	145,26	(m ²)
	x	
Pé-direito médio	2,6	(m)
	=	
Volume interior (V)	377,68	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumpre a NP 1037-1? (S ou N) se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia (s/c, 1, 2 ou 3)

Taxa de Renovação Nominal:

Caixas de Estore (S ou N)

Classe de Exposição (1, 2, 3 ou 4)

RPH=

Aberturas auto-reguláveis? (S ou N)

Área de envidraçados > 15% Ap? (S ou N)

Portas Exteriores bem vedadas? (S ou N)

Volume	377,68	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	0,8	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	102,73	(W/°C)

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação	Tipo	Área (m ²)	X()	g_{\perp} (-)	F_s (-) Fh Fo Ff	F_g (-)	F_w (-)	A_e (m ²)
Env. Sul- sala	Duplo	5,60	1,00	0,63	0,81	0,70	0,90	1,80
Env. Sul- quarto 01	Duplo	4,00	1,00	0,63	0,63	0,70	0,90	1,00
Env. Sul- suite	Duplo	4,00	1,00	0,63	0,76	0,70	0,90	1,20
Env. Norte- sala	Duplo	3,00	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,29
Env. Norte- cozinha	Duplo	1,60	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,15
Env. Norte- quarto 02	Duplo	5,60	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,54
Env. Oeste- sala	Duplo	6,00	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	1,01
Env. Oeste- cozinha	Duplo	1,68	0,56	0,63	0,57	0,70	0,90	0,21

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m ²)	6,21
	x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)	
na zona I1 (kWh/m ² .mês)	108,00
	x
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,30
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	3552,38

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	4,00 (W/m ²)
	x
Duração da Estação de Aquecimento	5,30 (meses)
	x
Área Útil de pavimento	145,26 (m ²)
	x
	0,72
	=
Ganhos Internos Brutos	2217,25 (kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} = \frac{5769,63}{9355,83}$$

Inércia do edifício: 3,00
(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

a = 4,2

$\gamma = 0,62$

Factor de Utilização dos Ganhos
Térmicos

(η)

0,95

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

5769,63

=

**Ganhos Úteis Totais
(kWh/ano)**

5453,66

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor máximo das necessidades de aquecimento (N_i)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		128,03
Coberturas exteriores		167,74
Pavimentos exteriores		0,00
Envidraçados exteriores		22,19
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A . τ)	317,96
Paredes interiores		0,00
Coberturas interiores		0,00
Pavimentos interiores		0,00
Envidraçados interiores		0,00
Área total:		317,96
		/
Volume (de FCIV.1d):		377,68
		=
Factor de forma FF		0,84
Graus-dias no local (°C.dia)		
		1190,00
		Auxiliar
$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$	Para $FF \leq 0,5$	51,51
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}$	Para $0,5 < FF \leq 1$	66,56
$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}] (1,2 - 0,2FF)$	Para $1 < FF \leq 1,5$	68,66
$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$	Para $FF > 1,5$	85,98

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - N_i (kWh/m².ano)

66,56

Folha de cálculo FC IV. 2

Cálculo do indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	169,38
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	0,00
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	55,48
Renovação de ar (de FCIV.1d)	102,73

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	327,58
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1190,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9355,83
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	5453,66
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	3902,17
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	145,26
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - N _{ic} (kWh/m ² .ano)	26,86
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - N _i (kWh/m ² .ano)	66,56

REGULAMENTAR

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	83,78	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	85,60	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	55,48	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	102,73	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais		327,58	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25,00	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento	23,00	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	2,00	
	x	
Perdas específicas totais	327,58	(W/°C)
	x	
	2,93	
	=	
Perdas térmicas totais	1918,34	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1c

Ganhos solares pela envolvente opaca

Orientação	Nzc	Ezc	Szc	Sptp	Wzc	Cob		
Área, A (m ²)	30,70	34,71	39,44	0,26	16,66	167,74	0,00	
	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m ² .°C)	0,64	0,64	0,64	0,85	0,64	0,51	0,00	
	x	x	x	x	x	x	x	x
α	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	
	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	7,82	8,84	10,05	0,09	4,25	34,24	0,00	0,00
	x	x	x	x	x	x	x	x
I _r (kWh/m ²)	200,00	470,00	380,00	380,00	470,00	820,00		
	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares	62,58	166,27	152,75	1,35	79,81	1123,09	0,00	0,00
pela Envolvente Opaca Exterior							Total kWh	1585,84

Folha de cálculo FC V.1d

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	Sul-sala	Sul-quarto 01	Sul-suite	Norte-sala	Norte-cozinha	Norte-quarto 02	Oeste-sala	Oeste-cozinha
Área, A (m2)	5,60	4,00	4,00	3,00	1,60	5,60	6,00	1,68
g^	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Fg (Quadro IV.5)	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Fs = Fh Fo Ff	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,90	0,71	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	0,72
Fw	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,75	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85
Área Efectiva, A _e	=	=	=	=	=	=	=	=
	0,71	0,40	0,45	0,41	0,22	0,76	0,87	0,19
I _r (kWh/m ²)	x	x	x	x	x	x	x	x
	420,00	420,00	420,00	200,00	200,00	200,00	450,00	450,00
Ganhos Solares	=	=	=	=	=	=	=	=
	300,06	169,08	190,51	81,65	43,55	152,41	390,38	87,45
pelos Envidraçados Exteriores							TOTAL (kWh)	1415,08

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos internos

Ganhos Internos médios (W/m ²)	4,00	
	x	
Área Útil de Pavimento (m ²)	145,26	
	x	
	2,93	
	=	
Ganhos internos Totais	1701,29	(kWh)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	1415,08	(kWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	1585,84	(kWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	1701,29	(kWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	4702,20	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc})

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	4702,20	(kWh)
	/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)	1918,34	(kWh)
	=	
Relação Ganhos-Perdas γ	2,45	
Inércia do edifício (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	3,00	

	1,00	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0,40	
	=	
	0,60	
	x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	4702,20	(kWh)
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	2810,41	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores	0,00	
	=	
TOTAL	2810,41	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m^2)	145,26	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - N_{vc}	19,35	
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - N_v	22,00	

REGULAMENTAR